**Содержание**

[Задание……...................................................................................................................................3](#_Toc384156929)

[Введение........................................................................................................................................4](#_Toc384156930)

[1.Теоретическая часть..................................................................................................................5](#_Toc384156931)

2. Расчётная часть.........................................................................................................................7

2.1 Определение термодинамических параметров..............................................................7

2.1.1Таблица расчётов.....................................................................................................10

2.2 Построение диаграммы режимов..................................................................................11

2.2.1 Построение линии конденсационного режима....................................................11

2.2.2 Построение линии противодавления....................................................................12

2.2.3 Построение линий максимальных пропусков пара в конденсатор....................12

2.2.4 Построение линий постоянных отборов пара......................................................12

2.2.5 Построение линий постоянных расходов пара в конденсатор...........................13

2.3Определение энергетической эффективности цикла...............................................13-16

3. Вывод........................................................................................................................................17

4. Литература................................................................................................................................18

5. Приложение 1...........................................................................................................................19

6. Приложение 2...........................................................................................................................20

# Задание для курсовой работы

«Определение характеристик теплофикационной паровой турбины»

Студенту группы 3ТТб-01-31оп

{{Name}}

**Вариант №**

**Исходные данные:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование графы | Обозначение | Значение | Единица  СИ |
| 1 | Номинальная мощность турбины |  | {{N}} |  |
| 2 | Максимальный расход острого пара |  | {{G}} |  |
| 3 | Давление острого пара |  | {{P1}} |  |
| 4 | Температура острого пара |  | {{T1}} | °С |
| 5 | Максимальный расход острого пара в регулируемый отбор |  | {{Got}} |  |
| 6 | Давление пара в регулируемом отборе |  | {{Pot}} |  |
| 7 | Давление в конденсаторе |  | {{P2}} |  |
| 8 | Относительный внутренний КПД части высокого давления |  | {{nchvd}} |  |
| 9 | Относительный внутренний КПД части низкого давления турбины |  | {{nchnd}} |  |

Дата выдачи задания: 2020г.

**Руководитель** к. т. н. Петрова Г.М.

**Исполнитель** студент группы 3ТТб-01-31оп{{Name}}

Срок защиты проекта: 2020г.

# ВВЕДЕНИЕ

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов нашей страны во многом зависит от успешного развития теплофикации промышленных предприятий и жилых массивов. Теплофикация — это централизованное снабжение теплотой внешних потребителей от ТЭЦ (теплоэлектроцентралей) на базе комбинированного производства теплоты и электроэнергии.

Теплофикация может давать существенную экономию топлива по сравнению с раздельным тепловым и электрическим снабжением, при котором электроэнергия вырабатывается на чисто силовых установках, например, на паротурбинных конденсационных электростанциях (КЭС), а теплота - в специальных котельных. При комбинированной выработке на тепловых электрических станциях теплота получается за счет использования частично или полностью отработанного в турбине пара, т.е. пара, использовавшегося для выработки электрической энергии.

Удельный расход топлива для выработки теплоты в отдельных отопительных котельных гораздо выше, чем на теплоэлектроцентралях. Важен и тот факт, что при комбинированном способе теплота вырабатывается на более совершенном энергетическом оборудовании теплоэлектроцентралей с высокими параметрами пара, что способствует повышению термического КПД теплового цикла. Если учесть экономию топлива от применения комбинированной выработки электроэнергии и теплоты, то КПД выработки только электроэнергии комбинированным способом на ТЭЦ достигает 75 - 80%, в то время как на самых современных паротурбинных конденсационных электрических станциях (КЭС), предназначенных для выработки только электрической энергии, эффективный КПД не превышает 32-35%.

Помимо экономии топлива, правильно запроектированные ТЭЦ дают экономию и других затрат, главным образом при капитальном строительстве отдельных установок для производства электрической энергии и теплоты.

В настоящей работе необходимо выполнить расчет теплофикационного цикла паровой турбины, построить диаграмму режимов теплофикационной турбины с одним регулируемым отбором пара, определить экономичность такого цикла и сравнить его по затратам топлива с раздельной выработкой электрической энергии и теплоты.

# Теоретическая часть

Паровая турбина является основным элементом энергетической установки теплофикационного цикла.

На рис. 1 представлена принципиальная схема паротурбинной установки с одним регулируемым отбором пара для подогрева сетевой воды. В этой установке определенное количество пара после срабатывания в части высокого давления (ЧВД) 1 турбины направляется в подогреватель сетевой воды (бойлер) 2, через который циркулирует вода из системы отопления при помощи насоса 3. Остальная часть пара через регулирующий орган 4 поступает в часть низкого давления (ЧНД) 5 турбины, где производится дополнительная механическая работа вращения ротора, преобразуемая турбогенератором 6 в электрическую энергию.

Отработанный в ЧНД турбины пар направляется в конденсатор 7, где происходит его конденсация за счет охлаждения циркуляционной водой, протекающей в трубках 8.

Затем конденсат из конденсатора 7 и подогревателя 2 направляется в деаэраторный бак 9, где происходит освобождение конденсата от растворенных в нем агрессивных газов (кислорода и углекислоты) с целью уменьшения коррозии оборудования. После деаэрации вода питательным насосом 10 подается в парогенератор 11, где за счет теплоты сгорания топлива происходит процесс парообразования и последующий перегрев пара в пароперегревателе 12. Перегретый пар через регулирующий орган 13 поступает в ЧВД паровой турбины.

Система регулирующих органов 13 (регулирующий клапан ЧВД) и 4 (поворотная диафрагма ЧНД) позволяет с помощью автоматических устройств регулировать подачу пара в ЧВД, ЧНД и теплофикационный отбор в зависимости от режима работы. Например, в летний период года отпадает необходимость в теплофикационном отборе, в этом случае поворотная диафрагма 4 перед ЧНД полностью открыта, и весь пар поступает в ЧНД и конденсатор турбины. Турбина работает по электрическому графику в конденсационном режиме.

В зимний период года включен регулятор давления 14 отборного пара, который автоматически воздействует на сервомоторы 15, 16 соответствующих регулирующих органов 4 и 13, изменяя расход пара на турбину, в отбор и конденсатор в количествах, предусмотренных тепловым графиком работы.

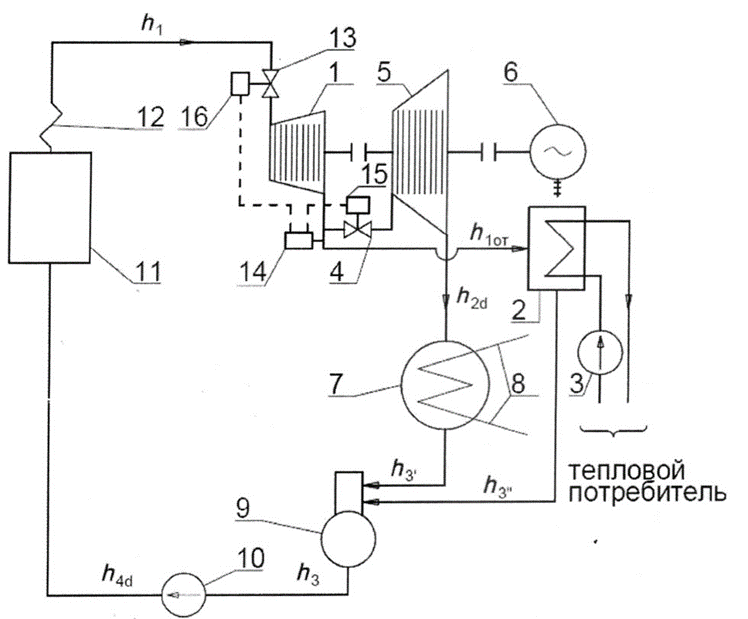


Рис. 1 - Принципиальная схема паротурбинной установки теплофикационного цикла

1. **Расчётная часть**

2.1 Определение термодинамических параметров в основных   
точках цикла

Точка 1 – состояние острого пара перед турбиной.

Давление {{P1}} температура {{T1}}. По в h, s – диаграмме или таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара находим:

энтальпия {{h1}}, удельный объем {{v1}},

энтропия {{s1}}.

Точка 1′ - конец изоэнтропного расширения пара в ЧВД турбины.

Определяется на h, s – диаграмме пересечением линий постоянных энтропия {{s1}}.и давления в отборе {{Pot}} По h, s – диаграмме находим: энтальпия {{h1sht}}, удельный объем {{v1sht}}, энтропия {{s1}}, температура {{T1sht}}

Точка – конец действительного процесса расширения пара в ЧВД   
турбины.

Энтальпию пара в точке определим по формуле:

,

Подставив известные величины, получим:

{{h1}}-({{h1}}-{{h1sht}})·{{nchvd}}={{h1ot}}

Из h, s – диаграммы по известным параметрам и {{Pot}}:

{{s1ot}}, {{v1ot}}, температура {{T1ot}}, т.к. точка находится в области влажного пара.

Точка 2 – конец изоэнтропного расширения пара в турбине.

Определяется пересечением линий постоянной энтропии {{s1}}, и давления в конденсаторе{{P2}}

По h, s – диаграмме находим: энтальпия {{h2}}, удельный объем пара {{v2}}; энтропия {{s1}},, температура {{T2}}

Точка 2′ – конец изоэнтропного расширения пара в ЧНД турбины.

Определяется пересечением линий постоянных энтальпии {{s1ot}} и давления в конденсаторе {{P2}}

По h, s – диаграмме находим: энтальпия {{h2sht}}, удельный объем {{v2sht}}; энтропия {{s1ot}},, температура {{T2sht}}

Точка – конец действительного процесса расширения пара в ЧНД

турбины.

Энтальпию пара в точке определим по формуле:

Подставив известные величины получим:

{{h1ot}}-({{h1ot}}-{{h2sht}})·{{nchnd}}={{h2d}}

По h, s – диаграмме находим:

{{s2d}}, , {{v2d}}, температура {{T2d}},   
{{P2}}

Точка 3′ - конец процесса конденсации пара в конденсаторе турбины.

Параметры в этой точке находим, пользуясь таблицами [6], по заданному давлению {{P2}}: {{T3sht}}, {{h3sht}},, {{v3sht}} , {{s3sht}},

Точка 3 - конец процесса конденсации пара в подогревателе сетевой воды (бойлере).

Параметры в этой точке находим, пользуясь таблицами [6], по заданному давлению {{P2}}: {{T3sht2}}, {{h3sht2}}, {{s3sht2}}, {{v3sht2}}

Точка 3 – состояние конденсата перед питательным насосом.

Энтальпию в этой точке находим по уравнению:

Расходы пара определяем из диаграммы режимов для номинального режима {{N}}:

({{G\_point3}}·{{h3sht}}+{{Got}}·{{h3sht2}})/({{G\_point3}}+{{Got}})={{h3}}

Остальные параметры кипящей воды в точке 3 находим из таблиц [6] по величине {{T3}} {{P3}} {{s3}} {{v3}}

Точка 4 – конец изоэнтропного сжатия конденсата в питательном насосе.

Механическая работа вращения ротора насоса полностью переходит в теплоту. При этом принимаем увеличение температуры и энтальпии конденсата после повышения давления до величины {{P1}} соответственно на и 10 кДж/кг. Тогда параметры в точке 4 будут равны:{{P1}} {{T4}} {{h4}} {{s3}} {{v4}}

Точка – конец адиабатного сжатия конденсата в питательном насосе   
(состояние конденсата перед парогенератором).

Энтальпия в точке определяется из уравнения:

где – внутренний относительный КПД питательного насоса.

Тогда:

{{h3}}+(({{h4}}-{{h3}})/0.9)={{h4d}}

Остальные параметры находим из таблиц [6] по величине и :

{{P1}} {{s4d}}, {{v4d}} {{T4d}}

Точка 5 – начало парообразования в парогенераторе.

Параметры находят по давлению из таблиц [6]:

{{P1}} {{T5}}, {{h5}} , {{s5}} {{v5}}

Точка 6 – конец парообразования в парогенераторе.

Параметры находят по давлению из таблиц [6]:

{{P1}} , {{T6}} {{h6}} , {{s6}} {{v6}}.

Найденные значения термодинамических параметров записываем в форме таблицы и строим цикл в h, s – диаграмме на листе форматом А4.

Таблица 1 – «Результаты расчета»

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера точек на диаграм-  ме  Параметры | 1 | 1′ |  | 2 | 2´ |  |
| p, МПа | {{P1}} | {{Pot}} | {{Pot}} | {{P2}} | {{P2}} | {{P2}} |
|  | {{T1}} | {{T1sht}} | {{T1ot}} | {{T2}} | {{T2sht}} | {{T2d}} |
|  | {{v1}} | {{v1sht}} | {{v1ot}} | {{v2}} | {{v2sht}} | {{v2d}} |
|  | {{h1}} | {{h1sht}} | {{h1ot}} | {{h2}} | {{h2sht}} | {{h2d}} |
|  | {{s1}} | {{s1}} | {{s1ot}} | {{s1}} | {{s1ot}} | {{s2d}} |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера точек на диаграм-  ме  Параметры | 3′ | 3″ |  | 4 |  |  | 6 |
| p,МПа | {{P2}} | {{Pot}} | {{P3}} | {{P1}} | {{P1}} | {{P1}} | {{P1}} |
|  | {{T3sht}} | {{T3sht2}} | {{T3}} | {{T4}} | {{T4d}} | {{T5}} | {{T5}} |
|  | {{v3sht}} | {{v3sht2}} | {{v3}} | {{v4}} | {{v4d}} | {{v5}} | {{v6}} |
|  | {{h3sht}} | {{h3sht2}} | {{h3}} | {{h4}} | {{h4d}} | {{h5}} | {{h6}} |
|  | {{s3sht}} | {{s3sht2}} | {{s3}} | {{s3}} | {{s4d}} | {{s5}} | {{s6}} |

2.2 Построение диаграммы режимов

2.2.1 Построение линии конденсационного режима

Пользуясь уравнением, определим максимальный расход пара в конденсатор при заданной мощности турбины :

Здесь – номинальная мощность турбины.

Действительный теплоперепад в турбине {{h1}}-{{h2}}={{Hn}} . Величины определены в разделе 1 (см. таблицу). Механический КПД турбины и электрический генератора . Получим:

({{N}}·3600)/({{Hn}}·0.97·0.98)={{Gk}}

Наносим точку «К», откладывая известные величины и на соответствующих осях и в соответствующих выбранных масштабах.

Определим потерю энергии холостого хода турбогенератора по уравнению (2.3):

{{N}}·(1/(0.98·0.97)-1)={{Nxx}}

Находим точку , откладывая величину в соответствующем масштабе влево от точки 0. Соединяя точки и К, получим искомую линию – К конденсационному режиму. Полученный отрезок на оси ординат определяет расход пара, необходимый для обеспечения холостого хода (n = 3000 об/мин) при условии попадания всего отработанного пара в конденсатор.

2.2.2 Построение линии противодавления

Определим максимальную мощность турбины при условии расхода пара в отбор, равном максимальному расходу пара в турбину

Здесь – максимальный расход пара в турбину, – действительный теплоперепад в ЧВД.

Тогда {{h1}}-{{h1ot}}={{Hnsht}} . Следовательно:

{{G}}·{{Hnsht}}/3600·0.97={{Nback}}

Откладывая на диаграмме величины и , получим точку r. Соединив точки и r, получим искомую линию противодавления – rпри нулевом расходе пара в конденсатор .

Отрезок на оси ординат определяет расход пара, необходимый для создания холостого хода при условии попадания всего отработанного пара в отбор.

Для охлаждения ЧНД и отвода теплоты, возникающей при вращении ротора турбины, принимаем минимальный пропуск пара в конденсатор

0.1·{{Gk}}={{Gmin}}

Проведем линию m – r, определяющую максимальный расход пара в турбину.

2.2.3 Построение линий минимальных пропусков пара в конденсатор

.

Отложим на линии конденсационного режима – К величину {{Gmin}}кг/час, получим точку . Затем проводим линию параллельно линии – r. Линия есть искомая линия постоянного минимального пропуска пара в конденсатор при изменении расхода в отбор от до {{Got}}

2.2.4 Построение линий постоянных отборов пара

Принимаем фиксированные расходы пара в отбор, равными:

0.2·{{Got}}={{Got1}}

{{Got2}}

{{Got3}}

{{Got4}}

{{G}}

Отложив эти величины на линии от точки , получим соответствующие точки I, II, III, IV и V.

Линии, проведенные из точек I, II, III, IV и V параллельно линии конденсационного режима при , есть искомые линии постоянных отборов пара .

2.2.5 Построение линий постоянных расходов пара в конденсатор

Принимаем фиксированные расходы пара в конденсатор, равными:

0.2·{{Got}}={{G1}}

{{G2}}

{{G3}}

{{G4}}

{{Got}}

Отложив эти величины на линии – К от оси абсцисс, получим соответствующие точки 1, 2, 3, 4, 5.

Линии, проведенные из точек 1, 2, 3, 4, 5 параллельно линии постоянного минимального пропуска пара в конденсатор есть искомые линии постоянных расходов пара в конденсатор .

2.3 Определение энергетической эффективности цикла

2.3.1 Определяем термический КПД обратимого (идеального) теплофикационного цикла в конденсационном режиме:

Подставив известные величины, получим:

(({{h1}}-{{h2}})-{{h4}}-{{h3}})/({{h4}}-{{h3}})={{nt}}

2.3.2 Определяем относительный внутренний КПД действительного цикла:

Здесь относительный внутренний КПД турбины определяется:

({{h1}}-{{h2d}})/({{h1}}-{{h2}})={{ntot1}}

Относительный внутренний КПД питательного насоса принимается равным .

Подставляя в уравнение относительного внутреннего КПД действительного цикла известные величины, получим:

(({{h1}}-{{h2}})·{{ntot}}-(({{h4}}-{{h3}})/0.8))/(({{h1}}-{{h2}})-({{h4}}-{{h3}})={{ntot}}

2.3.3 Определяем абсолютный внутренний КПД действительного цикла:

{{ntot}}·{{nt}}={{na}}

2.3.4. Определяем абсолютный эффективный КПД теплофикационной установки:

где КПД парогенератора . В нашем случае

Подставляем известные величины и найденную величину

0.93·0.98·0.97·{{na}}={{nyst}}

2.3.5 Определяем расход условного топлива при номинальном режиме теплофикационных турбин для {{N}} и {{Got}} по уравнению:

Где {{Got}} – расход пара в турбину при номинальном режиме

– низшая теплота сгорания топлива;

– энтальпии в соответствующих точках цикла, берем из таблицы.

Тогда:

({{Got}}({{h1}}-{{h4}})/(32000·0.93)={{B}}

2.3.6 Определяем расход условного топлива на тепловое потребление для подогрева сетевой воды в бойлере турбины по уравнению:

Здесь – максимальный расход пара в отбор при номинальном режиме;

- энтальпии в соответствующих точках, берем из таблицы.

Тогда:

({{Got}}({{h1ot}}-{{h3sht2}})/(32000·0.93)={{Bt}}

2.3.7 Определяем расход условного топлива на выработку только электроэнергии в номинальном режиме теплофикационной турбины по уравнению:

Подставляя найденные величины, получим:

{{B}}-{{Bt}}={{Bv}}

2.3.8 Определяем КПД ТЭЦ при выработке только электроэнергии в номинальном режиме по уравнению:

Подставляя известные величины, получим:

({{N}}·3600)/({{Bv}}·32000)={{ntew}}

2.3.9 Определяем КПД ТЭЦ при выработке только тепловой энергии в номинальном режиме по уравнению:

Подставляя известные величины, получим:

({{Got}}({{h1ot}}-{{h3sht2}}))/({{Bt}}·32000)={{ntewt}}

2.3.10 Определяем расход условного топлива на выработку электрической энергии на конденсационной станции (КЭС) при раздельной выработке по уравнению:

где {{Gk}} – максимальный расход пара в конденсатор при номинальной мощности турбины {{N}};

- энтальпия конденсата на линии насыщения в точке 3 (берется из таблицы).

Подставляя известные величины, получим:

({{Gk}}({{h1}}-{{h3sht}}))/(32000·0.93)={{Bsht}}

2.3.11 Расход условного топлива при раздельной выработке тепловой энергии в отдельной котельной принимаем равным расходу условного топлива на тепловое потребление в бойлере теплофикационной турбины при условии Тогда получим: {{Bt}}

2.3.12 Суммарный расход условного топлива при раздельной выработке электрической энергии и теплоты для номинального режима составит:

{{Bsht}}+{{Bt}}={{BB}}

2.3.13 Экономия топлива теплофикационного цикла на ТЭЦ по сравнению с раздельной выработкой электрической энергии и теплоты в номинальном режиме составит:

({{BB}}-{{B}})/{{BB}}={{sig}}

2.3.14 Определяем коэффициент использования теплоты топлива, равный отношению полезно использованной теплоты ко всей затраченной теплоте:

где – количество теплоты, отдаваемой внешнему потребителю;

{{Got}}·({{h1ot}}-{{h2sht2}})={{Q}}

а) для теплофикационного цикла:

(3600·{{N}}+{{Q}})/({{B}}·32000)={{K}}

б) для раздельной выработки электроэнергии и теплоты:

3600·{{N}}+{{Q}})/({{BB}}·32000)={{K2}}

**3 Вывод**

В данной работе был выполнен расчет теплофикационного цикла паровой турбины, построена диаграмма режимов теплофикационной турбины с одним регулируемым отбором пара, также построенцикл в h, s – диаграмме. Определена экономичность такого цикла δ={{sig}} % и коэффициенты использования теплоты топлива: для теплофикационного цикла К={{K}}и для раздельной выработки электроэнергии и теплоты К'={{K2}}.

**4 Литература**

1. Кириллин, В.А. Техническая термодинамика: учеб. Для вузов /В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. дом МЭИ, 2008.-496с.
2. Мурзаков, В.В. Основы технической термодинамики / В.В. Мурзаков. – М.: Энергия, 1973. – 307 с.
3. Щегляев, А.В. Паровые турбины: учеб. Для вузов / А.В. Щегляев. – Изд. 5-е, доп. М.: Энергия, 1976. – 368 с.
4. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети : учебник / Е.Я. Соколов. – 8-е изд., стереот. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006. – 472с.
5. Тепловые и атомные электрические станции : справочник / под ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и дом. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 648. (Теплоэнергетика и теплотехника. Кн. 3).
6. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара : справочник / С.Л. Ривкин, А.А.Александров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80с.