

ГЛАВА XII

Методика расчёта годовых показателей ТЭС

12.1. Построение энергетической характеристики для паротурбинной установки.

Для того чтобы построить спрямленную энергетическую характеристику паровой турбины, необходимо знать области постоянства этой характеристики, т.е. области электрических мощностей, на которых зависимость необходимого количества расхода пара D от вырабатываемой электрической мощности турбины N постоянна или же описывается только одной зависимостью.

Как было показано выше, это зависимость линейна, хотя в действительность таковой не является.

В исходный данных для курсовой работы даны четыре мощности:

1) $N_{\text{ном}}$ - номинальная мощность. Номинальной мощностью можно для простоты условно назвать такой мощностью энергоблока, при котором все составляющие энергоблока работают с максимальной эффективностью – т.е. максимальным к.п.д. Напомним, что энергоблок включает в себя котельную установку и паротурбинную установку, а также связывающих их паропроводов и трубопроводов питательной воды.

2) $N_{\text{тм}}$ - мощность технического минимума. Мощность технического минимума можно условно назвать такую мощность, при которой паровая турбина ещё способна нести электрическую нагрузку мощностью $N_{\text{тм}}$. Другими словами, если «снимать» с генератора электрическую мощность меньшую, чем $N_{\text{тм}}$, то паровая турбина не сможет обеспечить необходимый момент на валу, чтобы вращать электрогенератор.

3) N' , N'' - соответственно первая и вторая переходная мощности. Данные мощности приняты условно и являются границами прямолинейных зависимостей для построения энергетических характеристик как энергоблока в целом, так и для его составляющих.

Разделение области от $N_{\text{тм}}$ до $N_{\text{ном}}$ является условным, а точность энергетической характеристики зависит от количества этих разбиений. Однако с увеличением разбиений количество уравнений возрастает.

Таким образом, мы получаем три области на оси электрической мощности: первая область от $N_{\text{тм}}$ до N' , вторая область от N' до N'' и третья область от N'' до $N_{\text{ном}}$. На этих областях зависимость электрической мощности N от потребляемого пара D для паротурбинной установки описывается линейными зависимостями. Следовательно, для того, чтобы построить энергетическую характеристику для паротурбинной установки необходимо для каждой мощности, а именно для $N_{\text{тм}}$, N' , N'' и $N_{\text{ном}}$, найти тот расход пара, при котором паротурбинная установка будет обеспечивать заданную электрическую мощность.

Для номинального режима работы (номинальной мощности).

Как было показано выше, паротурбинная установка обеспечивает номинальный режим работы, выдавая номинальную мощность $N_{\text{ном}}$. При этом расход пара составляет $D_{\text{ном}}$. Значение $D_{\text{ном}}$ задано в исходный данных для курсовой работы. Таким образом, для энергетической характеристики паротурбинной установки в третьей области мы уже имеем одну точку. Однако главное, что необходимо получить для номинального режима работы, это удельный расход пара на номинальную электрическую мощность паротурбинной установки - $k_{\text{ном}}$. Его можно получить из следующего соотношения:

$$k_{\text{ном}} = \frac{D_{\text{ном}}}{N_{\text{ном}}} \quad (1).$$

Данный коэффициент показывает удельный расход пара. Именно основываясь на его значение мы будем дальше считать необходимый расход пара паротурбинной установки для

переходной мощностей N' и N'' , и мощности технического минимума $N_{\text{тм}}$.

Для второй переходной мощности.

Для того, чтобы подсчитать расход пара паротурбинной установки для второй переходной мощности, необходимо воспользоваться коэффициентом α'' . Этот коэффициент показывает во сколько раз увеличится удельный расход пара k'' для второй переходной мощности N'' относительно удельного расхода пара $k_{\text{ном}}$ для номинальной мощности $N_{\text{ном}}$.

Действительно, необходимо учесть тот факт, что в режимах отличных от номинальных, паротурбинная установка работает с к.п.д. ниже, чем в номинальном режиме. Это следует из того, что паротурбинная установка, преобразующая потенциальную энергию пара в механическую энергию вращения, проектируется на номинальную мощность, при которой она работает с максимальным к.п.д. Эта мощность и называется номинальной - $N_{\text{ном}}$. При любых других режимах работы, установка будет работать либо при снижении к.п.д., либо при повышенном износе самой установки.

Тогда для второй переходной мощности N'' расход пара D'' можно найти из соотношения:

$$D'' = N'' \cdot k_{\text{ном}} \cdot \alpha'' \quad (2).$$

Это же выражение можно записать в другой, более подходящей форме:

$$D'' = N'' \cdot k'' \quad (3),$$

где

$$k'' = k_{\text{ном}} \cdot \alpha'' \quad (4).$$

Для того чтобы подсчитать, на сколько процентов возрос удельный расход пара на единицу мощности, можно воспользоваться следующим соотношением:

$$\tau'' = \left(\frac{k''}{k_{\text{ном}}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (5).$$

Получившийся результат будет напрямую зависеть от α'' . Соотношение (5), применяя зависимость (4) можно записать с следующей форме:

$$\tau'' = \left(\frac{k''}{k_{\text{ном}}} - 1 \right) = \left(\frac{k_{\text{ном}} \cdot \alpha''}{k_{\text{ном}}} - 1 \right) = (\alpha'' - 1) \quad (6).$$

α'' , как правило, всегда больше «1». В противном случае удельный расход бы не увеличивался а уменьшался, чего быть не может, так как паротурбинная установка будет работать не в номинальном режиме. Однако здесь важно показать, что с чисто физической точки зрения «измерить» удельный расход нельзя. Можно померить только реальный расход пара и вырабатываемую электрическую мощность паротурбинной установки при этом расходе. После того, как экспериментально можно померить расход D и N , можно найти и коэффициент k , при помощи которого в свою очередь можно подсчитать и α .

Однако стоит помнить, что все эти зависимости являются в большой степени условными и упрощёнными. Однако принципы работы энергетического оборудования и его главной характеристикой – энергетической, достаточно ярко отражаются этими формулами.

Для первой переходной мощности.

Принцип расчёта расхода пара для первой переходной мощности N' ни чем не отличается от расчёта расхода пара для второй переходной мощности N'' . Соотношение (2) можно записать в следующем виде:

$$D' = N' \cdot k_{\text{ном}} \cdot \alpha' \quad (7).$$

— Значение удельного расхода топлива для N' , исходя из соотношения (4) можно записать так:

$$k' = k_{\text{ном}} \cdot \alpha' \quad (8).$$

В (7) и в (8) α' - это коэффициент показывающий, во сколько раз увеличится удельный расход мощности k' для первой переходной электрической мощности по сравнению с $k_{\text{ном}}$. Тогда интересующий нас коэффициент τ' , можно вычислить по аналогичной с (5) зависимости:

$$\tau' = \left(\frac{k'}{k_{\text{ном}}} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (9).$$

Стоит отметить, что α' всегда больше, чем α'' , так как при уменьшении вырабатываемой мощности, работа паротурбинной установки происходит с меньшим к.п.д.

Для мощности технического минимума.

Аналогичные расчёты происходят и для $N_{\text{тм}}$.

$$D_{\text{тм}} = N_{\text{тм}} \cdot k_{\text{ном}} \cdot \alpha_{\text{тм}} \quad (10),$$

$$k_{\text{тм}} = k_{\text{ном}} \cdot \alpha_{\text{тм}} \quad (11),$$

$$\tau_{\text{тм}} = \left(\frac{k_{\text{тм}}}{k_{\text{ном}}} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (12).$$

Построение энергетической характеристики для паротурбинной установки.

После того, как мы знаем все значения расходов пара на каждую из заданных мощностей, мы можем построить энергетическую характеристику паротурбинной установки. Как было сказано выше – это линейные зависимости, которые

имеют разные углы наклона в разных областях мощностей. Имея координаты точек в разных областях электрической мощности от $N_{\text{тм}}$ до $N_{\text{ном}}$, можно построить энергетическую характеристику паротурбинной установки.

Напомним, что энергетическая характеристика для паротурбинной установки есть зависимость расхода пара от электрической мощности.

12.2. Построение энергетической характеристики для парового котла (энергетического котла).

Энергетическая характеристика для парового котла есть зависимость количества сжигаемого топлива от количества пара, который он вырабатывает.

Как и в случае с паротурбинной установкой, паровой котёл работает с максимальным к.п.д. при номинальной нагрузке. Значение расхода топлива для номинального режима работы $V_{\text{ном}}$ дано в исходных данных для курсовой работы. Причём здесь необходимо понимать следующее, что при потреблении номинального количества топлива $V_{\text{ном}}$, паровой котёл вырабатывает номинальное количество пара $D_{\text{ном}}$, из которого паротурбинная установка вырабатывает номинальное количество электроэнергии – т.е. вырабатывает номинальную мощность $N_{\text{ном}}$.

Паровой котёл при его работе на выработку пара для двух переходных мощностей и мощности технического минимума, работает с к.п.д. ниже, чем при номинальной нагрузке. Поэтому это также необходимо учитывать, как и в случае с паротурбинной установкой. В паровом котле за это отвечают коэффициенты β'' , β' и $\beta_{\text{тм}}$, которые показывают во сколько раз увеличивается расход топлива для расходов пара D'' , D' и $D_{\text{тм}}$ соответственно.

Для номинального режима работы парового котла находим удельный расход топлива на генерацию пара:

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{B_{\text{НОМ}}}{D_{\text{НОМ}}} \quad (13).$$

Как и в случае с паротурбинной установкой, основываясь на коэффициенте удельного расхода топлива далее будем считать расход топлива для генерации пара расходов D'' , D' и $D_{\text{ТМ}}$.

Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для второй переходной мощности с учётом коэффициента β'' можно рассчитать по формуле

$$B'' = D'' \cdot m_{\text{НОМ}} \cdot \beta'' \quad (14)$$

Аналогично считаем и для первой переходной мощности и для мощности технического минимума.

$$B' = D' \cdot m_{\text{НОМ}} \cdot \beta' \quad (15)$$

$$B_{\text{ТМ}} = D_{\text{ТМ}} \cdot m_{\text{НОМ}} \cdot \beta_{\text{ТМ}} \quad (16)$$

Увеличение удельного расхода топлива на генерацию пара для второй переходной мощности можно подсчитать согласно следующему соотношению:

$$\lambda'' = \frac{m''}{m_{\text{НОМ}}} - 1 = \frac{m_{\text{НОМ}} \cdot \beta''}{m_{\text{НОМ}}} - 1 = \beta'' - 1 \quad (17)$$

Как видно из формулы λ'' напрямую зависит от β'' . Аналогично считаем для λ' и $\lambda_{\text{ТМ}}$.

$$\lambda' = \frac{m'}{m_{\text{НОМ}}} - 1 = \frac{m_{\text{НОМ}} \cdot \beta'}{m_{\text{НОМ}}} - 1 = \beta' - 1 \quad (18)$$

$$\lambda_{\text{ТМ}} = \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{НОМ}}} - 1 = \frac{m_{\text{НОМ}} \cdot \beta_{\text{ТМ}}}{m_{\text{НОМ}}} - 1 = \beta_{\text{ТМ}} - 1 \quad (19)$$

Далее по заданным $D_{\text{НОМ}}$, D'' , D' , $D_{\text{ТМ}}$, $B_{\text{НОМ}}$, B'' , B' и $B_{\text{ТМ}}$ можно построить энергетическую характеристику для парового (энергетического) котла. На оси “ОХ” откладываем расход пара D , на оси “ОУ” откладываем расход топлива B .

12.3. Построение энергетической характеристики для энергоблока.

Энергетической характеристикой энергоблока называется зависимость количества израсходованного топлива энергоблоком от количества выработанной электрической энергии этим же энергоблоком.

По рассчитанным ранее значениям $B_{\text{НОМ}}$, B'' , B' и $B_{\text{ТМ}}$, а также по заданным значениям мощности $N_{\text{НОМ}}$, N'' , N' и $N_{\text{ТМ}}$ можно построить энергетическую характеристику энергоблока. Рекомендуется также подсчитать коэффициенты, характеризующие наклон линейной энергетической характеристики энергоблока для каждой области мощностей согласно следующим зависимостям:

$$b' = \frac{B' - B_{\text{ТМ}}}{N' - N_{\text{ТМ}}} \quad (20)$$

$$b'' = \frac{B'' - B'}{N'' - N'} \quad (21)$$

$$b''' = \frac{B_{\text{НОМ}} - B''}{N_{\text{НОМ}} - N''} \quad (22)$$

где b' , b'' и b''' характеризуют углы наклона характеристик на участках соответственно от $N_{\text{тм}}$ до N' , от N' до N'' и от N'' до $N_{\text{ном}}$.

12.4. Построение графика суточной нагрузки.

График суточной нагрузки показывает потребление электроэнергии каким-либо объектом. В подавляющем большинстве случаев он имеет переменный характер. Для простоты расчётов на каждом временном интервале можно задать функциональную зависимость нагрузки от времени.

В данном случае имеется шесть временных областей, где задаётся данная функциональная зависимость. В общем виде эти зависимости выглядят следующим образом:

- для интервала времени от t_1 до t_2 :

$$F(t)_{1-2} = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot [(N_{\text{тм}} - N') \cdot (t - t_1) + N' \cdot (t_2 - t_1)] \quad (23)$$

- для интервала времени от t_2 до t_3 :

$$F(t)_{2-3} = N_{\text{тм}} \quad (24)$$

- для интервала времени от t_3 до t_4 :

$$F(t)_{3-4} = \frac{N_{\text{ном}} - N_{\text{тм}}}{(t_4 - t_3)^2} \cdot (t - t_3)^2 + N_{\text{тм}} \quad (25)$$

- для интервала времени от t_4 до t_5 :

$$F(t)_{4-5} = N_{\text{ном}} \quad (26)$$

- для интервала времени от t_5 до t_6 :

$$F(t)_{5-6} = \frac{-(N_{\text{ном}} - N'')}{(t_6 - t_5)^2} \cdot (t - t_5)^2 + N_{\text{ном}} \quad (27)$$

- для интервала времени от t_6 до t_7 :

$$F(t)_{6-7} = \frac{1}{(t_7 - t_6)} \cdot [(N' - N'') \cdot (t - t_6) + N'' \cdot (t_7 - t_6)] \quad (28)$$

Подставляя исходные данные в эти зависимости можно будет получить график нагрузки который будет характеризоваться интервалом времени от t_2 до t_3 для мощности технического минимума, а также интервалом времени от t_4 до t_5 для номинальной мощности. Необходимо отметить, что график представляет из себя непрерывную кривую, в которой отсутствуют какие-либо точки разрыва.

12.5. Потребляемая мощность каким-либо объектом за сутки.

Здесь необходимо найти потребляемые мощности каким-либо объектом на разных временных интервалах согласно графику нагрузки. Эти мощности можно найти путём интегрирования заданных соотношений для каждого интервала времени. Получаем соотношения:

- для интервала времени от t_1 до t_2 :

$$S_1 = \int_{t_1}^{t_2} F(t)_{1-2} dt \quad (29)$$

- для интервала времени от t_2 до t_3 :

$$S_2 = \int_{t_2}^{t_3} F(t)_{2-3} dt \quad (30)$$

- для интервала времени от t_3 до t_4 :

$$S_3 = \int_{t_3}^{t_4} F(t)_{3-4} dt \quad (31)$$

- для интервала времени от t_4 до t_5 :

$$S_4 = \int_{t_4}^{t_5} F(t)_{4-5} dt \quad (32)$$

- для интервала времени от t_5 до t_6 :

$$S_5 = \int_{t_5}^{t_6} F(t)_{5-6} dt \quad (33)$$

- для интервала времени от t_6 до t_7 :

$$S_6 = \int_{t_6}^{t_7} F(t)_{6-7} dt \quad (34)$$

- суммарная потребляемая мощность за сутки летнего рабочего дня:

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 \quad (35).$$

12.6. Средние значения коэффициентов для каждой области мощностей, характеризующие удельное потребление топлива энергоблоком.

Для начала необходимо найти значение удельного потребления топлива для каждой из заданных мощностей. Их можно найти согласно следующим зависимостям:

- для мощности технического минимума:

$$z_{\text{тм}} = \frac{B_{\text{тм}}}{N_{\text{тм}}} \quad (36)$$

- для первой переходной мощности:

$$z' = \frac{B'}{N'} \quad (37)$$

- для второй переходной мощности:

$$z'' = \frac{B''}{N''} \quad (38)$$

- для номинальной мощности:

$$z_{\text{ном}} = \frac{B_{\text{ном}}}{N_{\text{ном}}} \quad (39).$$

Среднее значение удельного потребления топлива для каждой области мощностей. Их можно найти согласно следующим зависимостям:

- для области от $N_{\text{тм}}$ до N' :

$$z_1 = \frac{z_{\text{тм}} + z'}{2} \quad (40)$$

- для области от N' до N'' :

$$z_2 = \frac{z' + z''}{2} \quad (41)$$

- для области от N'' до $N_{\text{ном}}$:

$$z_3 = \frac{z'' + z_{\text{ном}}}{2} \quad (42).$$

В данном случае эти зависимости являются достаточно упрощенными, так как в них отсутствует зависимость от мощности, а есть только интервал. Это окажет влияние на конечный результат – т.е. будет существовать погрешность, однако это сильно упрощает расчёты.

12.7. Расчёт показателей расхода топлива.

Цель данного раздела подсчитать суточный расход топлива, который расходует энергоблок для выработки электроэнергии согласно графику нагрузки, а также подсчитать его перерасход, который возникает из-за того, что энергоблок работает в не номинальном режиме.

Для каждой временной области справедливы следующие соотношения (к примеру, для интервала времени от t_2 до t_3):

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_2^{\text{cp}} = \frac{S_2}{t_3 - t_2} \quad (43)$$

- средний расход топлива в час:

$$B'_2 = S_2^{\text{cp}} \cdot z_1 \quad (44)$$

коэффициент z выбираем согласно интервалу мощности, который определяет график нагрузки, т.е.

• от $N_{\text{тм}}$ до N' выбираем $z_1 = \frac{z_{\text{тм}} + z'}{2}$,

• от N' до N'' выбираем $z_2 = \frac{z' + z''}{2}$ и

• от N'' до $N_{\text{ном}}$ выбираем $z_3 = \frac{z'' + z_{\text{ном}}}{2}$.

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_2 = B'_2 \cdot (t_3 - t_2) \quad (45)$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме:

$$\Delta B_2 = (z_1 - z_{\text{ном}}) \cdot S_2^{\text{cp}} \cdot (t_3 - t_2) \quad (46)$$

Для остальных интервалом расчёты аналогичны.

Далее находим:

- суммарная выработанная мощность энергоблока согласно графику нагрузки:

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 \quad (47)$$

- суммарное количество топлива израсходованного энергоблоком за сутки:

$$B_{\Sigma} = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 \quad (48)$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком:

$$\Delta B_{\Sigma} = \Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3 + \Delta B_4 + \Delta B_5 + \Delta B_6 \quad (49)$$

12.8. Суммарное время работы энергоблока в году.

По заданным коэффициентам, которые характеризуют долю аварийного $\tau_{\text{ав}}$ ремонта, текущего $\tau_{\text{тр}}$ и капитального $\tau_{\text{кап}}$ ремонтов, находим время работы энергоблока в году в часах согласно следующей зависимости:

$$\tau_{\text{раб}} = \tau_{\text{год}} \cdot (1 - \tau_{\text{ав}} - \tau_{\text{тр}} - \tau_{\text{кап}}) \quad (50)$$

где $\tau_{\text{год}} = 8760$ ч.

Из (50) находим количество суток работы энергоблока согласно следующей зависимости:

$$n_{\text{сут}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{24} \quad (51).$$

12.9. Показатели годовой эффективности энергоблока.

Из (47), (48) и (49), а также с учётом (51) можно подсчитать:

- всего выработанной электроэнергии:

$$N = S_{\Sigma} \cdot n_{\text{сут}} \quad (52)$$

- всего израсходованного топлива:

$$B = B_{\Sigma} \cdot n_{\text{сут}} \quad (53)$$

- годовой перерасход топлива:

$$\Delta B = \Delta B_{\Sigma} \cdot n_{\text{сут}} \quad (54)$$

Эти данные характеризуют реальную работу энергоблока в соответствии с графиком нагрузки, а также время останова энергоблока в соответствии с аварийными, текущими и капитальными работами на энергоблоке.

Для того, чтобы получить показатели годовой эффективности, необходимо сравнить реальные условия работы энергоблока с идеальными, т.е. при работе без ремонтов и при номинальной нагрузке.

Годовые показатели энергоблока в номинальном режиме работы в течение года без ремонтов и технического обслуживания можно подсчитать согласно следующим зависимостям:

- выработанная электроэнергия:

$$N_{\text{мах}} = N_{\text{ном}} \cdot \tau_{\text{год}} \quad (55)$$

- расход топлива:

$$B_{\text{мах}} = z_{\text{ном}} \cdot N_{\text{мах}} \quad (56).$$

Тогда годовую эффективность работы энергоблока можно найти согласно следующим зависимостям:

- показатель использования максимальной мощности энергоблока:

$$\delta' = \frac{N}{N_{\text{мах}}} \cdot 100\% \quad (57)$$

- показатель перерасхода топлива энергоблоком с соответствием с графиком нагрузки:

$$\delta'' = \frac{\Delta B}{B} \cdot 100\% \quad (58).$$

Формулы (57) и (58) характеризуют годовую эффективность работы энергоблока – эти значения и являются конечной целью курсовой работы.

12.10. Обозначения

$N_{\text{ном}}$ - номинальная мощность;

N'' - вторая переходная мощность;

N' - первая переходная мощность;

$N_{\text{тм}}$ - мощность технического минимума;

$D_{\text{ном}}$ - номинальный расход пара для работы паротурбинной установки в режиме номинальной электрической мощности $N_{\text{ном}}$;

D'' - расход пара для работы паротурбинной установки в режиме второй переходной мощности N'' ;

D' - расход пара для работы паротурбинной установки в режиме первой переходной мощности N' ;

$D_{\text{тм}}$ - расход пара для работы паротурбинной установки в режиме мощности технического минимума $N_{\text{тм}}$;

$D''_{\text{ид}}$ - идеальный расход пара на паротурбинную установку при работе на второй переходной мощности;

$k_{\text{ном}}$ - удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме номинальной электрической мощности $N_{\text{ном}}$;

— k'' - удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме второй переходной мощности N'' ;

k' - удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме первой переходной мощности N' ;

$k_{\text{тм}}$ - удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме мощности технического минимума $N_{\text{тм}}$;

$m_{\text{ном}}$ - удельный расход топлива на номинальном режиме, при котором в энергетическом котле вырабатывается такое количество пара, чтобы генератор энергоблока выдавал номинальную электрическую мощность;

m'' - то же для второй переходной электрической мощности;

m' - то же для первой переходной электрической мощности;

$m_{\text{тм}}$ - то же для мощности технического минимума;

α'' - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличится удельный расход пара k'' для второй переходной мощности N'' относительно удельного расхода пара $k_{\text{ном}}$ для номинальной мощности $N_{\text{ном}}$ паротурбинной установки;

α' - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличится удельный расход пара k' для первой переходной мощности N' относительно удельного расхода пара $k_{\text{ном}}$ для номинальной мощности $N_{\text{ном}}$ паротурбинной установки;

$\alpha_{\text{тм}}$ - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличится удельный расход пара $k_{\text{тм}}$ для мощности технического минимума $N_{\text{тм}}$ относительно удельного расхода пара $k_{\text{ном}}$ для номинальной мощности $N_{\text{ном}}$ паротурбинной установки;

β'' - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличится удельный расход топлива n'' для генерации пара D'' относительно удельного расхода топлива $n_{\text{ном}}$ для генерации пара $D_{\text{ном}}$;

— τ'' - коэффициент, показывающий на сколько процентов возрос удельный расход пара на работу паротурбинной установки вследствие её работы на второй переходной мощности N'' ;

τ' - коэффициент, показывающий на сколько процентов возрос удельный расход пара на работу паротурбинной установки вследствие её работы на второй переходной мощности N' ;

$\tau_{\text{тм}}$ - коэффициент, показывающий на сколько процентов возрос удельный расход пара на работу паротурбинной установки вследствие её работы на мощности технического минимума $N_{\text{тм}}$;

$\tau_{\text{ав}}$ - доля времени аварийного ремонта энергоблока в году в часах;

$\tau_{\text{тр}}$ - доля времени текущего ремонта энергоблока в году в часах;

$\tau_{\text{кап}}$ - доля времени капитального ремонта энергоблока в году в часах;

$t_1 \dots t_7$ - области времени графика нагрузки, на которых потребляемая мощность задаётся различными зависимостями;

$a_1 \dots a_3$ - угловые коэффициенты наклона энергетической характеристики паротурбинной установки в разных областях мощностей;

b', b'', b''' - коэффициенты, характеризующие наклон линейной энергетической характеристики энергоблока для каждой области мощностей;

$F(t)_{1-2} \dots F(t)_{6-7}$ - функции, описывающие график электрической нагрузки на разных интервалах времени;

$S_1 \dots S_6$ - числовые значения потребляемых мощностей каким-либо объектом на разных временных интервалах согласно графику нагрузки;

$z_{\text{тм}}$ - значение удельного потребления топлива для электрической мощности технического минимума;

z' - значение удельного потребления топлива для первой переходной электрической мощности;

z'' - значение удельного потребления топлива для второй переходной электрической мощности;

$z_{\text{ном}}$ - значение удельного потребления топлива для номинальной электрической мощности;

$z_1 \dots z_3$ - значения удельного потребления топлива для каждой области электрических мощностей;

$S_1^{\text{cp}} \dots S_6^{\text{cp}}$ - среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени;

$B'_1 \dots B'_6$ - средний расход топлива в час для заданного промежутка времени;

$B_1 \dots B_6$ - суммарный расход топлива для заданного промежутка времени;

$\Delta B_1 \dots \Delta B_6$ - суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме, для заданного промежутка времени;

S_{Σ} - суммарная выработанная мощность энергоблока согласно графику нагрузки за сутки;

B_{Σ} - суммарное количество топлива израсходованного энергоблоком за сутки;

ΔB_{Σ} - суммарный перерасход топлива энергоблоком согласно графику нагрузки за сутки;

$\tau_{\text{раб}}$ - время работы энергоблока в году в часах с вычетом доли времени аварийного, текущего и капитального ремонтов;

$n_{\text{сут}}$ - количество суток работы энергоблока в году;

N - выработка электроэнергии энергоблоком за год согласно заданному графику нагрузки;

B - количество израсходованного топлива энергоблоком за год, согласно графику нагрузки;

ΔB - годовой перерасход топлива энергоблоком согласно графику нагрузки из-за его работы в не номинальном режиме;

N_{max} - выработанная электроэнергия при работе энергоблока в номинальном режиме в течение года без ремонтов и технического обслуживания;

B_{max} - количество израсходованного топлива энергоблоком в номинальном режиме в течение года без ремонтов и технического обслуживания;

δ' - показатель использования максимальной мощности энергоблока;

δ'' - показатель перерасхода топлива энергоблоком с ответственности с графиком нагрузки;

ГЛАВА XIII Пример расчёта.

Дано:

- номинальная мощность $N_{\text{ном}} = 500$ МВт;
- вторая переходная мощность $N'' = 390$ МВт;
- первая переходная мощность $N' = 330$ МВт;
- мощность технического минимума $N_{\text{tm}} = 290$ МВт;
- коэффициент $\alpha'' = 1.03$;
- коэффициент $\alpha' = 1.06$;
- коэффициент $\alpha_{\text{tm}} = 1.09$;
- коэффициент $\beta'' = 1.04$;
- коэффициент $\beta' = 1.08$;
- коэффициент $\beta_{\text{tm}} = 1.12$;

- номинальный расход топлива $B_{\text{ном}} = 157 \text{ т/час}$;

- номинальный расход пара $D_{\text{ном}} = 135 \text{ т/час}$;

- время $t_1 = 0$;

- время $t_2 = 2$;

- время $t_3 = 6$;

- время $t_4 = 10$;

- время $t_5 = 18$;

- время $t_6 = 22$;

- время $t_7 = 24$;

- доля аварийного ремонта $\tau_{\text{ав}} = 0.0275$;

- доля текущего ремонта $\tau_{\text{тр}} = 0.0365$;

- доля капитального ремонта $\tau_{\text{кап}} = 0.077$.

Решение:

1. Построение энергетической характеристики паротурбинной установки.

1.1. Удельный расход пара на паротурбинную установку при работе в номинальной режиме:

Номинальная электрическая мощность $N_{\text{ном}} = 500 \text{ МВт}$.

Номинальный расход пара $D_{\text{ном}} = 135 \text{ т/час}$.

Удельный расход пара

$$k_{\text{ном}} = \frac{D_{\text{ном}}}{N_{\text{ном}}} = \frac{135}{500} = 0.27 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

1.2. Реальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на второй переходной мощности:

Вторая переходная мощность $N'' = 390 \text{ МВт}$.

Коэффициент $\alpha'' = 1.03$.

Идеальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на второй переходной мощности:

$$D'_{\text{ид}} = N'' \cdot k_{\text{ном}} = 390 \cdot 0.27 = 105.3 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме второй переходной мощности:

$$k'' = k_{\text{ном}} \cdot \alpha'' = 0.27 \cdot 1.03 = 0.278 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Реальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на второй переходной мощности:

$$D'' = N'' \cdot k'' = 390 \cdot 0.278 = 108.4 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Увеличение удельного расхода пара для второй переходной мощности:

$$\tau'' = \frac{k''}{k_{\text{ном}}} - 1 = \frac{0.278}{0.27} - 1 = 0.03 = 3 \%.$$

1.3. Реальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на первой переходной мощности:

Первая переходная мощность $N' = 330 \text{ МВт}$.

Коэффициент $\alpha' = 1.06$.

Идеальный расход пара на паротурбинную установку при работе на первой переходной мощности:

$$D'_{\text{ид}} = N' \cdot k_{\text{ном}} = 330 \cdot 0.27 = 89.1 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме первой переходной мощности:

$$k' = k_{\text{ном}} \cdot \alpha' = 0.27 \cdot 1.06 = 0.286 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Реальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на первой переходной мощности:

$$D' = N' \cdot k' = 330 \cdot 0.286 = 94.44 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

— Увеличение удельного расхода пара для первой переходной мощности:

$$\tau' = \frac{k'}{k_{\text{ном}}} - 1 = \frac{0.286}{0.27} - 1 = 0.06 = 6\%.$$

1.4. Реальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на мощности технического минимума:

Мощность технического минимума $N_{\text{тм}} = 290$ МВт.

Коэффициент $\alpha_{\text{тм}} = 1.09$.

Идеальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на мощности технического минимума:

$$D_{\text{тм_ид}} = N_{\text{тм}} \cdot k_{\text{ном}} = 290 \cdot 0.27 = 78.3 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Удельный расход пара на работу паротурбинной установки в режиме второй переходной мощности:

$$k_{\text{тм}} = k_{\text{ном}} \cdot \alpha_{\text{тм}} = 0.27 \cdot 1.09 = 0.294 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Реальный расход пара на паротурбинную установку при её работе на первой переходной мощности:

$$D_{\text{тм}} = N_{\text{тм}} \cdot k_{\text{тм}} = 290 \cdot 0.294 = 85.34 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Увеличение удельного расхода пара для первой переходной мощности:

$$\tau_{\text{тм}} = \frac{k_{\text{тм}}}{k_{\text{ном}}} - 1 = \frac{0.294}{0.27} - 1 = 0.09 = 9\%.$$

1.5. Построение энергетической характеристики турбины:

Номинальная мощность $N_{\text{ном}} = 500$ МВт.

Вторая переходная мощность $N'' = 390$ МВт.

Первая переходная мощность $N' = 330$ МВт.

Мощность технического минимума $N_{\text{тм}} = 290$ МВт.

— Расход пара на номинальную мощность $D_{\text{ном}} = 135$ т/час.

Расход пара на вторую переходную мощность $D'' = 108.4$ т/час.

Расход пара на первую переходную мощность $D' = 94.44$ т/час.

Расход пара на мощность технического минимума $D_{\text{тм}} = 85.34$ т/час.

Найдёт угловые коэффициенты наклона энергетической характеристики паротурбинной установки в разных областях мощностей.

Первая область от $N_{\text{тм}} = 290$ МВт до $N' = 330$ МВт:

$$a_1 = \frac{D' - D_{\text{тм}}}{N' - N_{\text{тм}}} = \frac{94.44 - 85.34}{330 - 290} = 0.227 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Вторая область от $N' = 330$ МВт до $N'' = 390$ МВт:

$$a_2 = \frac{D'' - D'}{N'' - N'} = \frac{108.4 - 94.44}{390 - 330} = 0.234 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Третья область от $N'' = 390$ МВт до $N_{\text{ном}} = 500$ МВт:

$$a_3 = \frac{D_{\text{ном}} - D''}{N_{\text{ном}} - N''} = \frac{135 - 108.4}{500 - 390} = 0.241 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Исходя из исходных данных и коэффициентов, характеризующих наклон прямых, можем построить энергетическую характеристику для паротурбинной установки (см. приложение №1).

2. Построение энергетической характеристики для парового котла.

2.1. Удельный расход топлива на паровой котёл для выработки номинального количества пара.

Номинальная электрическая мощность $N_{\text{ном}} = 500$ МВт.

Расход пара на номинальную мощность $D_{\text{ном}} = 135$ т/час.

Номинальный расход топлива $B_{\text{ном}} = 157$ т/час.

Удельный расход топлива:

$$m_{\text{ном}} = \frac{B_{\text{ном}}}{D_{\text{ном}}} = \frac{157}{135} = 1.163.$$

2.2. Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для второй переходной мощности:

Вторая переходная мощность $N'' = 390$ МВт.

Расход пара на вторую переходную мощность $D'' = 108.4$ т/час.

Коэффициент $\beta'' = 1.04$.

Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для второй переходной мощности:

$$B'' = D'' \cdot m_{\text{ном}} \cdot \beta'' = 108.4 \cdot 1.163 \cdot 1.04 = 131.17 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Удельный расход топлива для генерации паровым котлом пара для второй переходной мощности:

$$m'' = m_{\text{ном}} \cdot \beta'' = 1.163 \cdot 1.04 = 1.209.$$

Увеличение удельного расхода топлива на генерацию пара для второй переходной мощности:

$$\lambda'' = \frac{m''}{m_{\text{ном}}} - 1 = \frac{m_{\text{ном}} \cdot \beta''}{m_{\text{ном}}} - 1 = \beta'' - 1 = 0.04 = 4\%.$$

2.3. Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для первой переходной мощности:

Первая переходная мощность $N' = 330$ МВт.

Расход пара на первую переходную мощность $D' = 94.44$ т/час.

Коэффициент $\beta' = 1.08$.

Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для первой переходной мощности:

$$B' = D' \cdot m_{\text{ном}} \cdot \beta' = 94.44 \cdot 1.163 \cdot 1.08 = 118.62 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Удельный расход топлива для генерации паровым котлом пара для второй переходной мощности:

$$m' = m_{\text{ном}} \cdot \beta' = 1.163 \cdot 1.08 = 1.256$$

Увеличение удельного расхода топлива на генерацию пара для второй переходной мощности:

$$\lambda' = \frac{m'}{m_{\text{ном}}} - 1 = \frac{m_{\text{ном}} \cdot \beta'}{m_{\text{ном}}} - 1 = \beta' - 1 = 0.08 = 8\%.$$

2.4. Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для мощности технического минимума:

Мощность технического минимума $N_{\text{тм}} = 290$ МВт.

Расход пара на мощность технического минимума $D_{\text{тм}} = 85.34$ т/час.

Коэффициент $\beta_{\text{тм}} = 1.12$.

Реальный расход топлива для генерации паровым котлом пара для первой переходной мощности:

$$B_{\text{тм}} = D_{\text{тм}} \cdot m_{\text{ном}} \cdot \beta_{\text{тм}} = 85.34 \cdot 1.163 \cdot 1.12 = 111.16 \frac{\text{т}}{\text{час}}.$$

Удельный расход топлива для генерации паровым котлом пара для первой переходной мощности:

$$m_{\text{тм}} = m_{\text{ном}} \cdot \beta_{\text{тм}} = 1.163 \cdot 1.12 = 1.303$$

Увеличение удельного расхода топлива на генерация пара для мощности технического минимума:

$$\lambda_{\text{тм}} = \frac{m_{\text{тм}}}{m_{\text{ном}}} - 1 = \frac{m_{\text{ном}} \cdot \beta_{\text{тм}}}{m_{\text{ном}}} - 1 = \beta_{\text{тм}} - 1 = 0.12 = 12\%.$$

2.5. Построение энергетической характеристики для парового котла.

Расход пара на номинальную мощность $D_{\text{ном}} = 135$ т/час.

— Расход пара на вторую переходную мощность $D'' = 108.4$ т/час.

Расход пара на первую переходную мощность $D' = 94.44$ т/час.

Расход пара на мощность технического минимума $D_{\text{тм}} = 85.34$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара для номинальной мощности: $B_{\text{ном}} = 157$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара в паровом котле для второй переходной мощности: $B'' = 131.17$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара в паровом котле для первой переходной мощности: $B' = 118.62$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара в паровом котле для мощности технического минимума: $B_{\text{тм}} = 111.16$ т/час.

Исходя из исходных значений расхода топлива и получившегося количества топлива, можем построить энергетическую характеристику для парового котла (см. приложение №2).

3. Построение энергетической характеристики энергоблока.

Номинальная мощность $N_{\text{ном}} = 500$ МВт.

Вторая переходная мощность $N'' = 390$ МВт.

Первая переходная мощность $N' = 330$ МВт.

Мощность технического минимума $N_{\text{тм}} = 290$ МВт.

Расход топлива на генерацию пара для номинальной мощности: $B_{\text{ном}} = 157$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара в паровом котле для второй переходной мощности: $B'' = 131.17$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара в паровом котле для первой переходной мощности: $B' = 118.62$ т/час.

Расход топлива на генерацию пара в паровом котле для мощности технического минимума: $B_{\text{тм}} = 111.16$ т/час.

— Найдём коэффициенты, характеризующие наклон линейной энергетической характеристики энергоблока для каждой области мощностей:

Для области от $N_{\text{тм}}$ до N' :

$$b' = \frac{B' - B_{\text{тм}}}{N' - N_{\text{тм}}} = \frac{118.62 - 111.16}{330 - 290} = 0.186 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Для области от N' до N'' :

$$b'' = \frac{B'' - B'}{N'' - N'} = \frac{131.17 - 118.62}{390 - 330} = 0.209 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Для области от N'' до $N_{\text{ном}}$:

$$b''' = \frac{B_{\text{ном}} - B''}{N_{\text{ном}} - N''} = \frac{157 - 131.17}{500 - 390} = 0.235 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Исходя из исходных значений расхода топлива и вырабатываемой мощности, можно построить энергетическую характеристику для энергоблока (см. приложение №3).

4. Построим график суточной нагрузки энергоблока летнего рабочего дня согласно (23), (24), (25), (26), (27) и (28):

- на интервале от времени $t_1 = 0$ до $t_2 = 2$ график задаётся следующей зависимостью:

$$F(t)_{1-2} = \frac{1}{2} \cdot [-40 \cdot (t - 0) + 330 \cdot 2];$$

- на интервале от времени $t_2 = 2$ до $t_3 = 6$ график задаётся следующей зависимостью:

$$F(t)_{2-3} = 290;$$

- на интервале времени от $t_3 = 6$ до $t_4 = 10$ график задаётся следующей зависимостью:

$$F(t)_{3-4} = \frac{210}{4^2} \cdot (t - 6)^2 + 290;$$

- на интервале времени от $t_4 = 10$ до $t_5 = 18$ график задаётся следующей зависимостью:

$$F(t)_{4-5} = 500;$$

- на интервале времени от $t_5 = 18$ до $t_6 = 22$ график задаётся следующей зависимостью:

$$F(t)_{5-6} = \frac{-(500 - 390)}{(22 - 16)^2} \cdot (t - 18)^2 + 500;$$

- на интервале времени от $t_6 = 22$ до $t_7 = 24$ график задаётся следующей зависимостью:

$$F(t)_{6-7} = \frac{1}{2} \cdot [-60 \cdot (t - 22) + 390 \cdot 2].$$

Получившийся график суточной нагрузки энергоблока приведён в приложении №4.

5. Найдём потребляемые мощности каким-либо объектом на разных временных интервалах согласно графику нагрузки:

- на интервале от времени $t_1 = 0$ до $t_2 = 2$:

$$S_1 = \int_{t_1}^{t_2} F(t)_{1-2} dt = \int_0^2 \frac{1}{2} \cdot [-40 \cdot (t - 0) + 330 \cdot 2] dt = 620 \text{ МВт};$$

- на интервале от времени $t_2 = 2$ до $t_3 = 6$:

$$S_2 = \int_{t_2}^{t_3} F(t)_{2-3} dt = \int_2^6 290 dt = 1.16 \cdot 10^3 \text{ МВт};$$

- на интервале времени от $t_3 = 6$ до $t_4 = 10$:

$$S_3 = \int_{t_3}^{t_4} F(t)_{3-4} dt = \int_6^{10} \left[\frac{210}{4^2} \cdot (t - t_3)^2 + 290 \right] dt = 1.44 \cdot 10^3 \text{ МВт};$$

- на интервале времени от $t_4 = 10$ до $t_5 = 18$:

$$S_4 = \int_{t_4}^{t_5} F(t)_{4-5} dt = \int_{10}^{18} 500 dt = 4 \cdot 10^3 \text{ МВт};$$

- на интервале времени от $t_5 = 18$ до $t_6 = 22$:

$$S_5 = \int_{t_5}^{t_6} F(t)_{5-6} dt = \int_{18}^{22} \left[\frac{-(500 - 390)}{(22 - 16)^2} \cdot (t - 18)^2 + 500 \right] dt = 1.85 \cdot 10^3 \text{ МВт};$$

- на интервале времени от $t_6 = 22$ до $t_7 = 24$:

$$S_6 = \int_{t_6}^{t_7} F(t)_{6-7} dt = \int_{22}^{24} \left[\frac{1}{2} \cdot [-60 \cdot (t - 22) + 390 \cdot 2] \right] dt = 720 \text{ МВт}.$$

Суммарная потребляемая мощность за сутки летнего рабочего дня:

$$S_{\Sigma} = 620 + 1.16 \cdot 10^3 + 1.44 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3 + 1.85 \cdot 10^3 + 720 = 9.97 \cdot 10^3 \text{ МВт}.$$

6. Найдём средние значения коэффициентов для каждой области мощностей, характеризующие удельное потребление топлива энергоблоком.

6.1. Значение удельного потребления топлива для каждой из заданных мощностей:

- для мощности технического минимума:

$$z_{\text{тм}} = \frac{B_{\text{тм}}}{N_{\text{тм}}} = \frac{111.16}{290} = 0.383 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- для первой переходной мощности:

$$z' = \frac{B'}{N'} = \frac{118.62}{330} = 0.359 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- для второй переходной мощности:

$$z'' = \frac{B''}{N''} = \frac{131.17}{390} = 0.336 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- для номинальной мощности:

$$z_{\text{ном}} = \frac{B_{\text{ном}}}{N_{\text{ном}}} = \frac{157}{500} = 0.314 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

6.2. Среднее значение удельного потребления топлива для каждой области мощностей:

- для области от $N_{\text{тм}}$ до N' :

$$z_1 = \frac{z_{\text{тм}} + z'}{2} = \frac{0.383 + 0.359}{2} = 0.371 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- для области от N' до N'' :

$$z_2 = \frac{z' + z''}{2} = \frac{0.359 + 0.336}{2} = 0.348 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- для области от N'' до $N_{\text{ном}}$:

$$z_3 = \frac{z'' + z_{\text{ном}}}{2} = \frac{0.336 + 0.314}{2} = 0.325 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

См. Приложение №5.

7. Показатели расхода топлива энергоблоком за сутки согласно графику нагрузки.

7.1. На интервале времени от $t_1 = 0$ до $t_2 = 2$:

- суммарная выработка электроэнергии энергоблоком согласно графику нагрузки $S_1 = 620$ МВт;

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_1^{\text{cp}} = \frac{S_1}{t_2 - t_1} = \frac{620}{2} = 310 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

- энергоблок работает в интервале мощностей от $N_{\text{тм}}$ до N' , следовательно выбираем удельный расход топлива

$$z_1 = 0.371 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- средний расход топлива в час:

$$B'_1 = S_1^{\text{cp}} \cdot z_1 = 310 \cdot 0.371 = 115.01 \text{ т};$$

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_1 = B'_1 \cdot (t_2 - t_1) = 115.02 \cdot 2 = 230 \text{ т};$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме:

$$\Delta B_1 = (z_1 - z_{\text{ном}}) \cdot S_1^{\text{cp}} \cdot (t_2 - t_1) = 0.057 \cdot 310 \cdot 2 = 35.5 \text{ т}.$$

7.2. На интервале времени от $t_2 = 2$ до $t_3 = 6$:

- суммарная выработка электроэнергии энергоблоком согласно графику нагрузки $S_2 = 1.16 \cdot 10^3$ МВт;

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_2^{\text{cp}} = \frac{S_2}{t_3 - t_2} = \frac{1.16 \cdot 10^3}{4} = 290 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

- энергоблок работает в интервале мощностей от N_{TM} до N' , следовательно выбираем удельный расход топлива $z_1 = 0.371 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$;

- средний расход топлива в час:

$$B'_2 = S_2^{\text{сп}} \cdot z_1 = 290 \cdot 0.371 = 107.59 \text{ т};$$

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_2 = B'_2 \cdot (t_3 - t_2) = 107.59 \cdot 4 = 430.3 \text{ т};$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме:

$$\Delta B_2 = (z_1 - z_{\text{ном}}) \cdot S_2^{\text{сп}} \cdot (t_3 - t_2) = 0.057 \cdot 290 \cdot 4 = 66.5 \text{ т}.$$

7.3. На интервале времени от $t_3 = 6$ до $t_4 = 10$:

- суммарная выработка электроэнергии энергоблоком согласно графику нагрузки $S_3 = 1.44 \cdot 10^3 \text{ МВт}$;

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_3^{\text{сп}} = \frac{S_3}{t_4 - t_3} = \frac{1.44 \cdot 10^3}{4} = 360 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

- энергоблок работает в интервале мощностей от N_{TM} до $N_{\text{ном}}$, следовательно выбираем удельный расход топлива

$$z_2 = 0.348 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- средний расход топлива в час:

$$B'_3 = S_3^{\text{сп}} \cdot z_2 = 360 \cdot 0.348 = 125.3 \text{ т};$$

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_3 = B'_3 \cdot (t_4 - t_3) = 125.4 \cdot 4 = 501 \text{ т};$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме:

$$\Delta B_3 = (z_2 - z_{\text{ном}}) \cdot S_3^{\text{сп}} \cdot (t_4 - t_3) = 0.034 \cdot 360 \cdot 4 = 48.8 \text{ т}.$$

7.4. На интервале времени от $t_4 = 10$ до $t_5 = 18$:

- суммарная выработка электроэнергии энергоблоком согласно графику нагрузки $S_4 = 4 \cdot 10^3 \text{ МВт}$;

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_4^{\text{сп}} = \frac{S_4}{t_5 - t_4} = \frac{4 \cdot 10^3}{8} = 500 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

- энергоблок работает при максимальной нагрузке – т.е. при $N_{\text{ном}}$, следовательно выбираем удельный расход топлива

$$z_{\text{ном}} = 0.314 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- средний расход топлива в час:

$$B'_4 = S_4^{\text{сп}} \cdot z_{\text{ном}} = 500 \cdot 0.314 = 157 \text{ т};$$

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_4 = B'_4 \cdot (t_5 - t_4) = 157 \cdot 8 = 1256 \text{ т};$$

- перерасхода топлива равняется нулю, так как энергоблок работает при номинальном режиме:

$$\Delta B_4 = 0 \text{ т}.$$

7.5. На интервале от $t_5 = 18$ до $t_6 = 22$:

— суммарная выработка электроэнергии энергоблоком согласно графику нагрузки $S_5 = 1.853 \cdot 10^3$ МВт;

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_5^{\text{cp}} = \frac{S_5}{t_6 - t_5} = \frac{1.853 \cdot 10^3}{4} = 463.3 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

- энергоблок работает в интервале мощностей от N'' до $N_{\text{ном}}$, следовательно выбираем удельный расход топлива

$$z_3 = 0.325 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- средний расход топлива в час:

$$B'_5 = S_5^{\text{cp}} \cdot z_3 = 463.3 \cdot 0.325 = 150.6 \text{ т};$$

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_5 = B'_5 \cdot (t_6 - t_5) = 150.6 \cdot 4 = 602.4 \text{ т};$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме:

$$\Delta B_5 = (z_3 - z_{\text{ном}}) \cdot S_5^{\text{cp}} \cdot (t_6 - t_5) = 0.011 \cdot 463.3 \cdot 4 = 20.1 \text{ т}.$$

7.6. На интервале от $t_6 = 22$ до $t_7 = 24$:

- суммарная выработка электроэнергии энергоблоком согласно графику нагрузки $S_6 = 720$ МВт;

- среднечасовая выработка электроэнергии для заданного промежутка времени:

$$S_6^{\text{cp}} = \frac{S_6}{t_7 - t_6} = \frac{720}{2} = 360 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

— энергоблок работает в интервале мощностей от N'' до $N_{\text{ном}}$, следовательно выбираем удельный расход топлива

$$z_2 = 0.348 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}};$$

- средний расход топлива в час:

$$B'_6 = S_6^{\text{cp}} \cdot z_2 = 360 \cdot 0.348 = 125.3 \text{ т};$$

- суммарный расход топлива для заданного промежутка времени:

$$B_6 = B'_6 \cdot (t_7 - t_6) = 125.3 \cdot 2 = 250.6 \text{ т};$$

- суммарный перерасход топлива энергоблоком, вследствие его работы в не номинальном режиме:

$$\Delta B_6 = (z_2 - z_{\text{ном}}) \cdot S_6^{\text{cp}} \cdot (t_7 - t_6) = 0.034 \cdot 360 \cdot 2 = 24.4 \text{ т}.$$

7.7. Суммарная выработанная мощность энергоблока согласно графику нагрузки:

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = 9.79 \cdot 10^3 \text{ МВт}.$$

7.8. Суммарное количество топлива израсходованного энергоблоком за сутки:

$$B_{\Sigma} = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 = 3.2 \cdot 10^3 \text{ т}.$$

7.9. Суммарный перерасход топлива энергоблоком:

$$\Delta B_{\Sigma} = \Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3 + \Delta B_4 + \Delta B_5 + \Delta B_6 = 196 \text{ т}.$$

8. Суммарное время работы энергоблока в году.

Количество часов в году: $\tau_{\text{год}} = 8760$ ч.

Доля аварийного ремонта $\tau_{\text{ав}} = 0.0275$.

Доля текущего ремонта $\tau_{\text{тр}} = 0.0365$.

Доля капитального ремонта $\tau_{\text{кап}} = 0.077$.

Рабочее время энергоблока:

$$\begin{aligned}\tau_{\text{раб}} &= \tau_{\text{год}} \cdot (1 - \tau_{\text{ав}} - \tau_{\text{тр}} - \tau_{\text{кап}}) = \\ &= 8760 \cdot (1 - 0.0275 - 0.0365 - 0.077) = 7525 \text{ ч.}\end{aligned}$$

Количество суток работы энергоблока:

$$n_{\text{сут}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{24} = 313 \text{ суток.}$$

9. Годовая эффективность работы энергоблока.

9.1. Годовые показатели энергоблока согласно графику нагрузки:

- всего выработанной электроэнергии:

$$N = S_{\Sigma} \cdot n_{\text{сут}} = 9.79 \cdot 10^3 \cdot 313 = 3 \cdot 10^6 \text{ МВт};$$

- всего израсходованного топлива:

$$B = B_{\Sigma} \cdot n_{\text{сут}} = 3.27 \cdot 10^3 \cdot 313 = 1.02 \cdot 10^6 \text{ т};$$

- годовой перерасход топлива:

$$\Delta B = \Delta B_{\Sigma} \cdot n_{\text{сут}} = 196 \cdot 313 = 6.13 \cdot 10^4 \text{ т.}$$

9.2. Годовые показатели энергоблока в номинальном режиме работы в течение года без ремонтов и технического обслуживания:

- выработанная электроэнергия:

$$N_{\text{мах}} = N_{\text{ном}} \cdot \tau_{\text{год}} = 500 \cdot 8760 = 4.38 \cdot 10^6 \text{ МВт};$$

- расход топлива:

$$B_{\text{мах}} = z_{\text{ном}} \cdot N_{\text{мах}} = 0.314 \cdot 4.38 \cdot 10^6 = 1.375 \cdot 10^6 \text{ т.}$$

9.3. Годовая эффективность работы энергоблока:

- показатель использования максимальной мощности энергоблока:

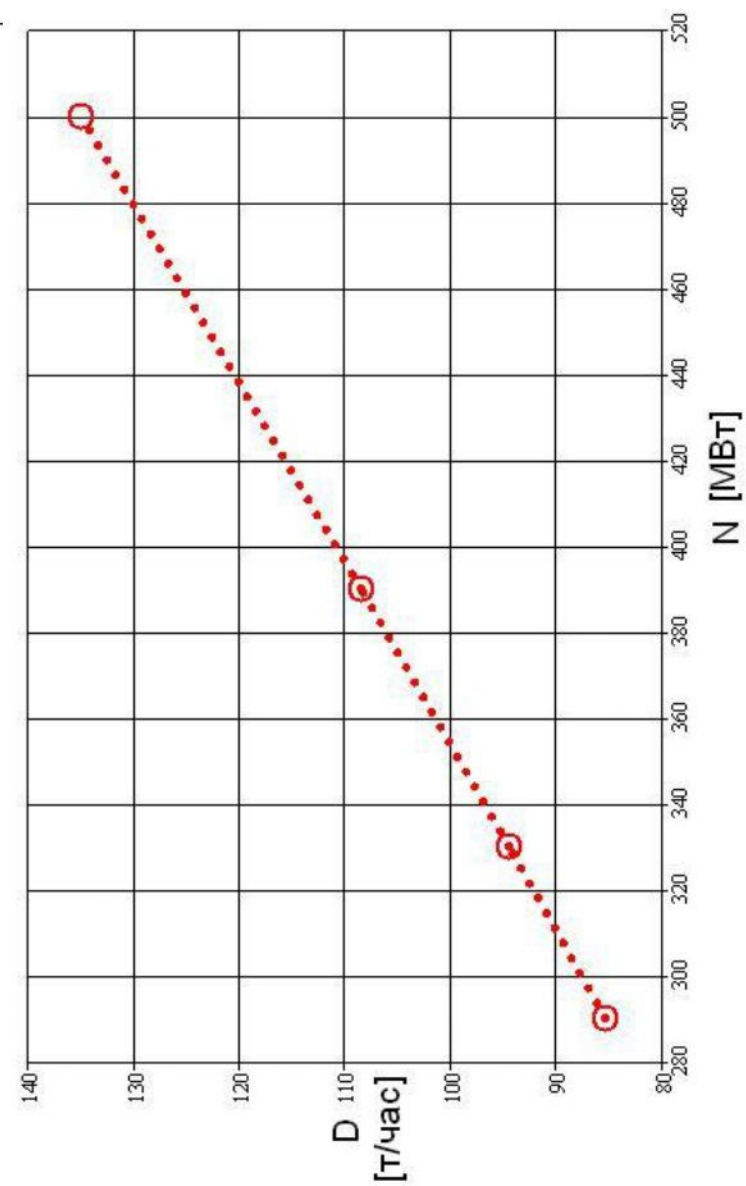
$$\delta' = \frac{N}{N_{\text{мах}}} \cdot 100 = 69.9 \%.$$

- показатель перерасхода топлива энергоблоком с соответствием с графиком нагрузки:

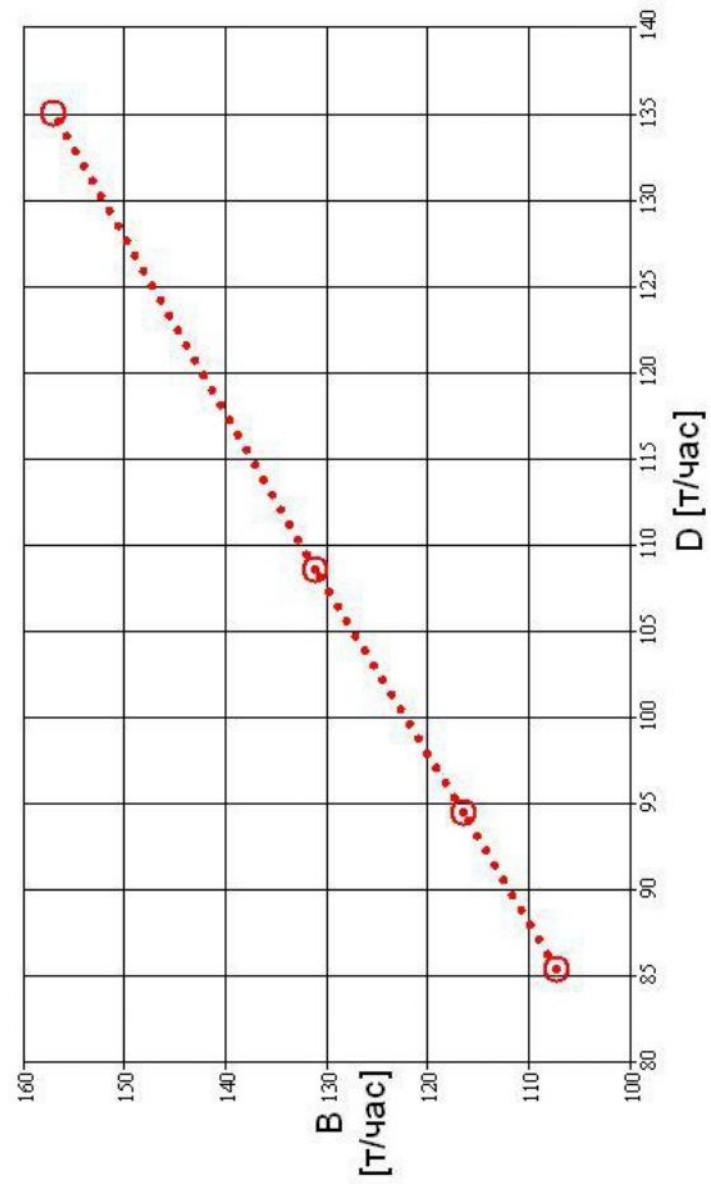
$$\delta'' = \frac{\Delta B}{B} \cdot 100 = 5.99 \%.$$

Таким образом, в соответствии с приведённым графиком нагрузки, ремонтными работами, снижении эффективности работы энергоблока из-за его работы в не номинальном режиме, его эффективность его работы составила 69,9 % от номинальной, а перерасход топлива 5.99 %.

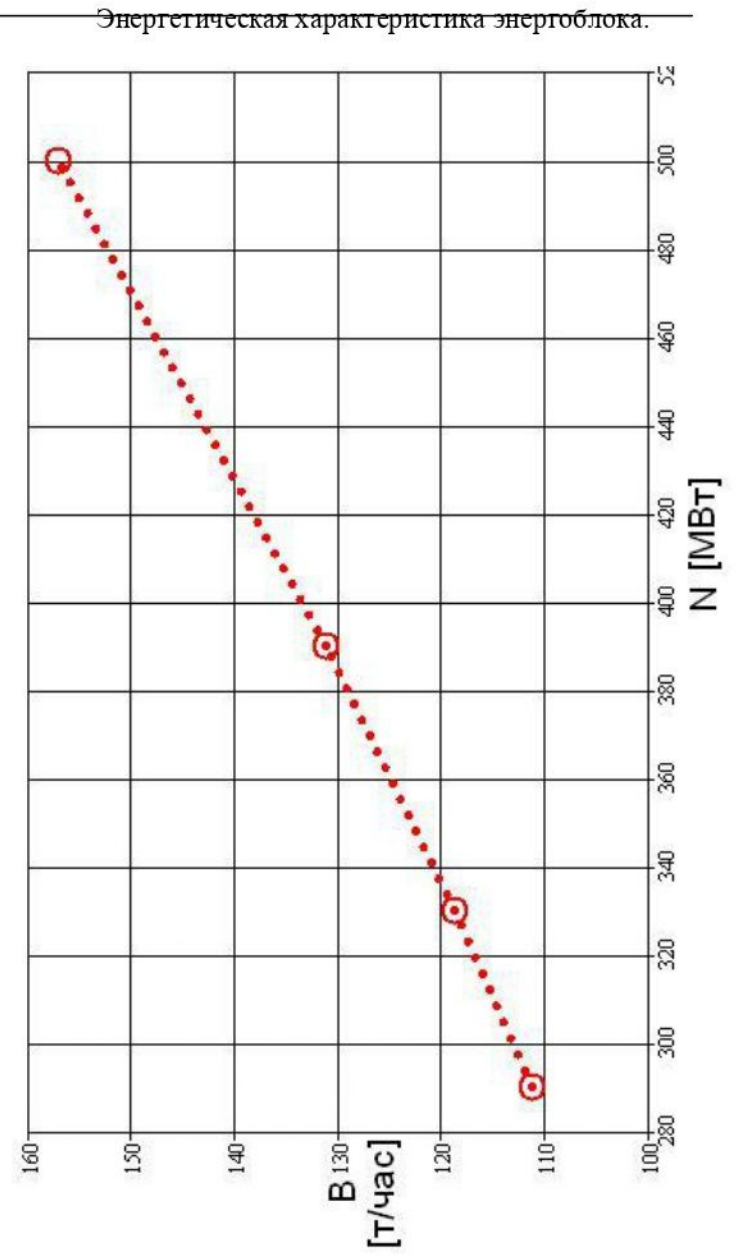
Приложение №1.
Энергетическая характеристика паротурбинной установки.



Приложение №2.
Энергетическая характеристика парового котла.

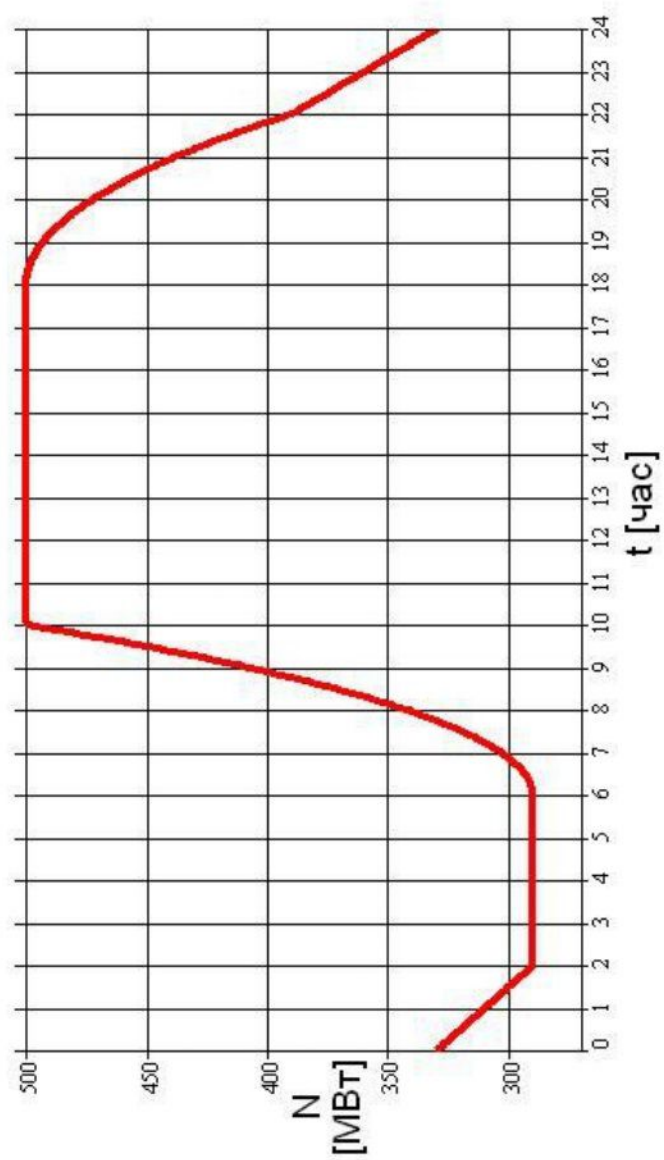


Приложение №3.



Приложение №4.

График суточной нагрузки энергоблока для рабочего дня.



Приложение №5.

Значения удельного потребления топлива на участках.

