

Исходные данные

1. Турбоагрегат К–800–240.
2. Число энергоблоков $z=4$.
3. Топливо – газ.
4. Номинальная нагрузка энергоблока $N_0 = 800 \text{ МВт}$. /1/
5. Нагрузка технического минимума $N_{\min} = 360 \text{ МВт}$. /1/
6. Доля времени на ремонт: /1/
 - аварийный: $\alpha_{ав} = 0,068$;
 - текущий: $\alpha_{тр} = 0,044$;
 - капитальный: $\alpha_{кр} = 0,085$.
7. Удельный расход условного топлива: /1/
 - $b_y^{\text{бp}} = 0,310 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}$
 - $b_y^{\text{нетто}} = 0,318 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}$.
8. Расход условного топлива на пуск: /1/
 - $B_{\text{пуск}}^{\text{з.с.}} = 225,2 \text{ т.у.т.}$
 - $B_{\text{пуск}}^{\text{х.с.}} = 411,2 \text{ т.у.т.}$
9. Расход условного топлива на холостой ход: /1/
 - $B_{\text{хх}} = 24,5 \text{ т/ч}$.

Пуско-остановочный режим

В данном режиме, при нагрузке ночного провала $N_{np} = 2048 \text{ МВт}$, достаточно остановить один блок, при этом остальные блоки понесут равномерную нагрузку в размере $N_i = \frac{2048}{3} = 682,67 \text{ МВт}$.

Скорость набора нагрузки при пуске из холодного состояния 5 МВт/мин , при пуске из горячего состояния 6.67 МВт/мин , скорость сброса нагрузки $6,67 \text{ МВт/мин}$. /6/

Нагружение и разгружение блоков происходит согласно составленным графикам нагрузки.

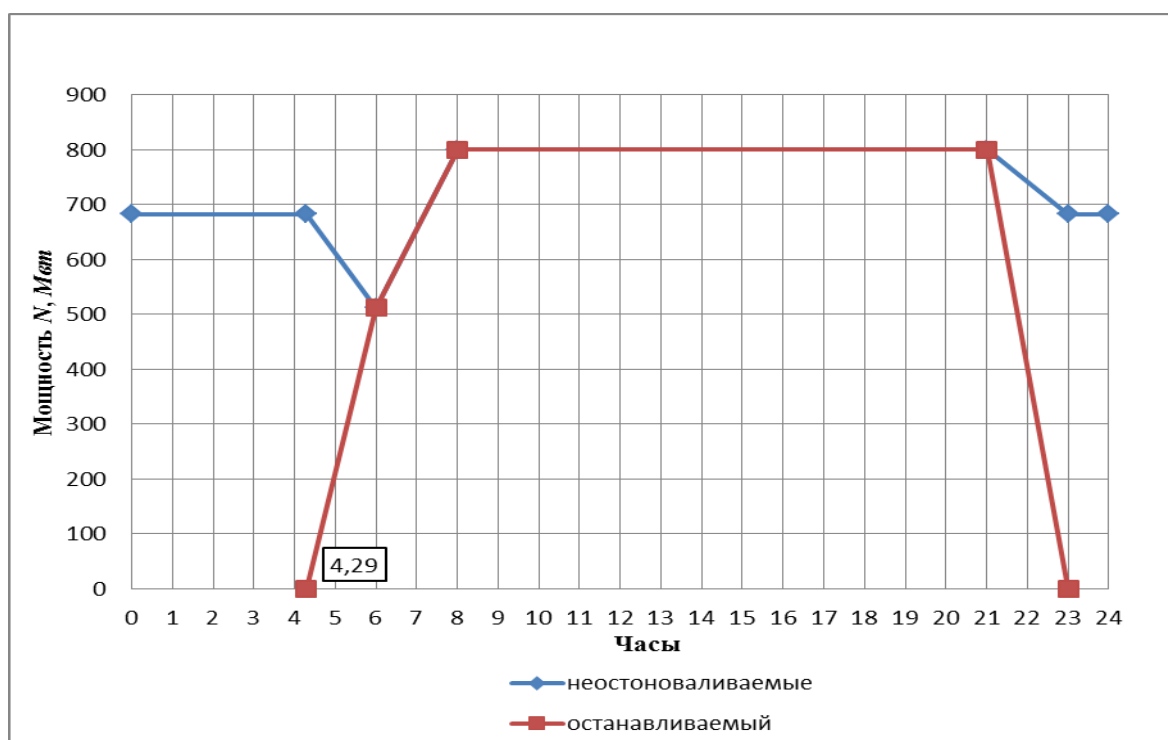


Рисунок 1. Суточный график электрической нагрузки блоков при выводе останавливаемого блока из холодного состояния.

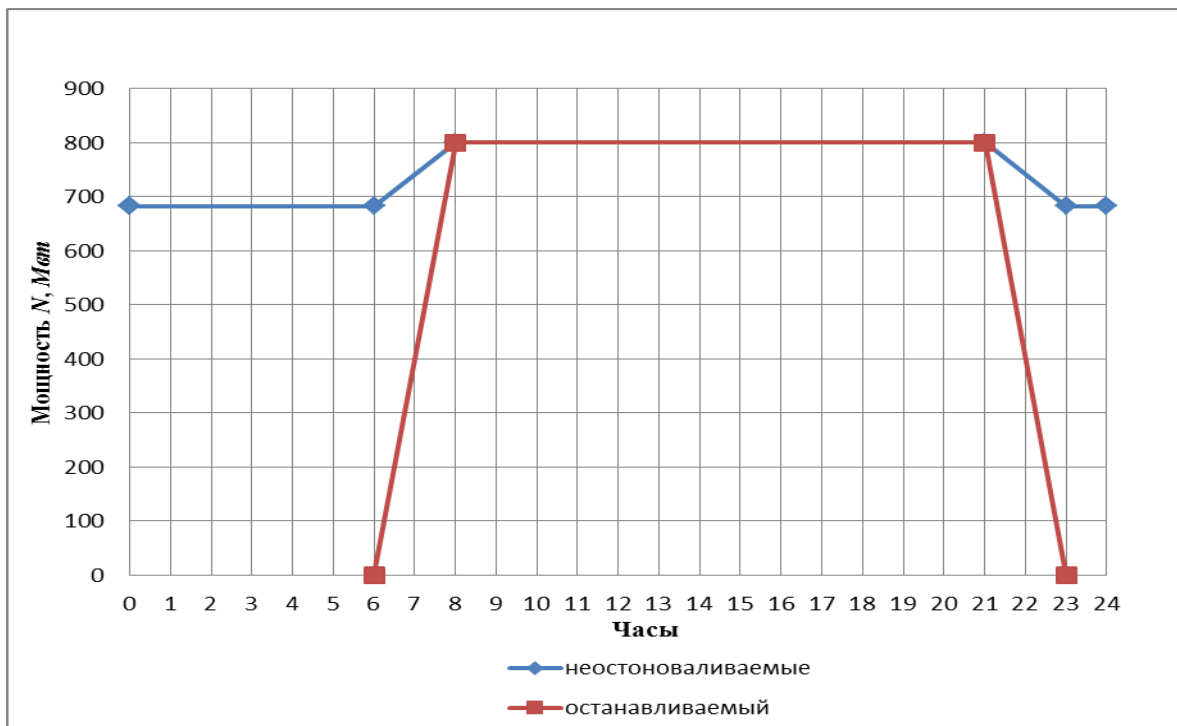


Рисунок 2. Суточный график электрической нагрузки блоков при выводе останавливаемого блока из горячего состояния.

1. Относительная нагрузка блока в период провала нагрузки: /1/

$$\bar{N} = \frac{N_i}{N_0};$$

$$\bar{N} = \frac{682,67}{800} = 0,853,$$

где: $N_0 = 800 \text{ МВт}$ – нагрузка блока в номинальном режиме;

$N_i = 682,67 \text{ МВт}$ – мощность блока в часы провала нагрузки;

2. КПД станции при изменении нагрузки: /1/

$$\eta_{ст} = \eta_{\odot} \eta_{КА} \eta_{ТР},$$

где: $\eta_{\odot}$ – электрический КПД турбоустановки;

$\eta_{КА}$ – КПД котлоагрегата;

$\eta_{ТР}$ – КПД транспорта тепла.

При изменении нагрузки изменились и составляющие КПД станции.

Электрический КПД турбоустановки: /2/

$$\eta_{\Xi} = \eta_{\Xi}^{ном} - A(1 - \bar{N}) - \frac{B(1 - \bar{N})}{\bar{N}};$$

$$\eta_{\Xi} = 0,467 - 0,035 \cdot (1 - 0,853) - \frac{0,0144(1 - 0,853)}{0,853} = 0,459,$$

где: $\eta_{\Xi}^{ном} = 0,467$ – электрический КПД турбоустановки при номинальной нагрузке блока; /4/

$A = 0,035$ и $B = 0,0144$ – постоянные коэффициенты. /1/

КПД котельного агрегата: /2/

$$\eta_{KA} = \eta_{KA}^{ном} + \left(\sqrt{2 - 6,25 \cdot (\bar{N} - 0,6)^2} - 1 \right) \cdot 0,01;$$

$$\eta_{KA} = 0,93 + \left(\sqrt{2 - 6,25 \cdot (0,853 - 0,6)^2} - 1 \right) \cdot 0,01 = 0,933,$$

где: $\eta_{\Xi}^{ном} = 0,93$ – КПД котельного агрегата при номинальной нагрузке блока. /3/

КПД транспорта тепла: /2/

$$\eta_{TP} = \eta_{TP}^{ном} - 0,25 \cdot (1 - \bar{N});$$

$$\eta_{TP} = 0,98 - 0,25 \cdot (1 - 0,853) = 0,943,$$

где: $\eta_{TP}^{ном} = 0,98$ – КПД транспорта тепла при номинальной нагрузке блока. /5/

КПД станции при нагрузке отличной от номинальной:

$$\eta_{cm} = 0,459 \cdot 0,933 \cdot 0,943 = 0,404.$$

3. Удельный расход условного топлива при нагрузке ночного провала: /1/

$$b_y^{np} = \frac{0,123}{\eta_{cm}};$$

$$b_y^{np} = \frac{0,123}{0,404} = 0,304 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}.$$

4. Расход условного топлива при нагрузке ночного провала: /1/

$$B_y^{np} = b_y^{np} N_{np};$$

$$B_y^{np} = 0,304 \cdot 682,67 = 207,53 \text{ т/ч}.$$

5. Расход условного топлива при нагрузке $N = 512 \text{ МВт}$:

$$B_y^{512} = 169,728 \text{ т/ч}.$$

6. Расход топлива при работе блока на номинальном режиме:

$$B_y^{ном} = 248 \text{ м/ч},$$

7. Расходы топлива в переменных частях графика нагрузки:

$$B_y^{682,67 \rightarrow 512} = \frac{B_y^{np} + B_y^{512}}{2} = \frac{207,53 + 169,728}{2} = 188,63 \text{ м/ч};$$

$$B_y^{512 \rightarrow 800} = \frac{B_y^{512} + B_y^{ном}}{2} = \frac{169,728 + 248}{2} = 208,86 \text{ м/ч};$$

$$B_y^{800 \rightarrow 682,67} = B_y^{682,67 \rightarrow 800} = \frac{B_y^{ном} + B_y^{np}}{2} = \frac{248 + 207,53}{2} = 227,76 \text{ м/ч};$$

8. Суточный расход условного топлива на неостанавливаемый блок при выводе одного блока из холодного состояния: /1/

$$B_{y(x)}^{сут} = B_y^{ном} \cdot \tau_{ном} + B_y^{np} \cdot \tau_{np} + B_y^{682,67 \rightarrow 512} \cdot \tau_{682,67 \rightarrow 512} + B_y^{512 \rightarrow 800} \cdot \tau_{512 \rightarrow 800} + B_y^{800 \rightarrow 682,67} \cdot \tau_{800 \rightarrow 682,67}$$

$$B_{y(x)}^{сут} = 248 \cdot 13 + 207,53 \cdot 5,29 + 188,63 \cdot 1,71 + 208,86 \cdot 2 + 227,76 \cdot 2 = 5517,63 \text{ т.у.т},$$

где: $\tau_{ном} = 13 \text{ ч.}$, $\tau_{np} = 5,29 \text{ ч.}$, $\tau_{682,67 \rightarrow 512} = 1,71 \text{ ч.}$, $\tau_{512 \rightarrow 800} = 2 \text{ ч.}$, $\tau_{800 \rightarrow 682,67} = 2 \text{ ч.}$ — время работы блока с номинальной, минимальной и переменными нагрузками;

9. Суточный расход условного топлива на неостанавливаемый блок при выводе одного блока из горячего состояния: /1/

$$B_{y(z)}^{сут} = B_y^{ном} \cdot \tau_{ном} + B_y^{np} \cdot \tau_{np} + 2 \cdot B_y^{800 \rightarrow 682,67} \cdot \tau_{800 \rightarrow 682,67}$$

$$B_{y(z)}^{сут} = 248 \cdot 13 + 207,53 \cdot 7 + 2 \cdot 227,76 \cdot 2 = 5587,75 \text{ т.у.т},$$

где: $\tau_{ном} = 13 \text{ ч.}$, $\tau_{np} = 7 \text{ ч.}$, $\tau_{800 \rightarrow 682,67} = 2 \text{ ч.}$ — время работы блока с номинальной, минимальной и переменной нагрузками соответственно;

10. Суточный расход условного топлива на неостанавливаемый блок в нерабочие дни: /1/

$$B_{y(np)}^{сут} = 24 \cdot B_y^{np};$$

$$B_{y(np)}^{сут} = 24 \cdot 207,53 = 4980,72 \text{ т.у.т}.$$

11. Недельный расход условного топлива на один неостанавливаемый блок:

$$B_{y(неост)}^{нед} = 4 \cdot B_{y(z)}^{сут} + B_{y(x)}^{сут} + 2 \cdot B_{y(np)}^{сут};$$

$$B_{y(неост)}^{нед} = 4 \cdot 5587,75 + 5517,63 + 2 \cdot 4980,72 = 37830,07 \text{ т.у.т}.$$

12. Относительная нагрузка разгружаемого блока в период останова: /1/

$$\bar{N} = \frac{N_{cp}}{N_0};$$

$$\bar{N} = \frac{400}{800} = 0,5,$$

где: $N_0 = 800 \text{ MBm}$ – нагрузка блока в номинальном режиме;

$N_{cp} = 400 \text{ MBm}$ – средняя нагрузка блока в период разгружения;

13. КПД станции при изменении нагрузки: /1/

$$\eta_{cm} = \eta_{\text{э}} \eta_{KA} \eta_{TP},$$

где: $\eta_{\text{э}}$ – электрический КПД турбоустановки;

η_{KA} – КПД котлоагрегата;

η_{TP} – КПД транспорта тепла.

При изменении нагрузки изменились и составляющие КПД станции.

Электрический КПД турбоустановки: /2/

$$\eta_{\text{э}} = \eta_{\text{э}}^{\text{ном}} - A(1 - \bar{N}) - \frac{B(1 - \bar{N})}{\bar{N}};$$

$$\eta_{\text{э}} = 0,467 - 0,035 \cdot (1 - 0,5) - \frac{0,0144 \cdot (1 - 0,5)}{0,5} = 0,435,$$

где: $\eta_{\text{э}}^{\text{ном}} = 0,467$ – электрический КПД турбоустановки при номинальной нагрузке блока; /4/

$A = 0,035$ и $B = 0,0144$ – постоянные коэффициенты. /1/

КПД котельного агрегата: /2/

$$\eta_{KA} = \eta_{KA}^{\text{ном}} + \left(\sqrt{2 - 6,25 \cdot (\bar{N} - 0,6)^2} - 1 \right) \cdot 0,01;$$

$$\eta_{KA} = 0,93 + \left(\sqrt{2 - 6,25 \cdot (0,5 - 0,6)^2} - 1 \right) \cdot 0,01 = 0,934,$$

где: $\eta_{KA}^{\text{ном}} = 0,93$ – КПД котельного агрегата при номинальной нагрузке блока.

/3/

КПД транспорта тепла: /2/

$$\eta_{TP} = \eta_{TP}^{\text{ном}} - 0,25 \cdot (1 - \bar{N});$$

$$\eta_{TP} = 0,98 - 0,25 \cdot (1 - 0,5) = 0,855,$$

где: $\eta_{TP}^{HO.M} = 0,98$ – КПД транспорта тепла при номинальной нагрузке блока. /5/
 КПД станции при нагрузке отличной от номинальной:

$$\eta_{cm} = 0,435 \cdot 0,934 \cdot 0,855 = 0,347.$$

14. Удельный расход условного топлива при средней нагрузке блока в период останова: /1/

$$b_y^{ocm} = \frac{0,123}{\eta_{cm}};$$

$$b_y^{ocm} = \frac{0,123}{0,347} = 0,354 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}.$$

15. Расход условного топлива при средней нагрузке блока в период останова: /1/

$$B_y^{ocm} = b_y^{ocm} N_{cp};$$

$$B_y^{ocm} = 0,354 \cdot 400 = 141,6 \text{ т/ч}.$$

16. Расходы условного топлива на период набора нагрузки при пуске из холодного состояния:

$$B_{y(ocm.x)}^{512 \rightarrow 800} = B_y^{512 \rightarrow 800} = 208,86 \text{ т/ч}.$$

$$B_{y(ocm.x)}^{0 \rightarrow 512} = b_y^{cp} N_{cp}^{0 \rightarrow 512};$$

$$B_{y(ocm.x)}^{0 \rightarrow 512} = 0,32 \cdot 256 = 81,92 \text{ т/ч}.$$

где: $b_y^{cp} = \frac{b_y^{512} + b_y^{800}}{2} = \frac{0,3315 + 0,31}{2} = 0,32 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}$ – принятый средний
 удельный расход условного топлива при наборе нагрузки с 0 МВт до 512 МВт.

$N_{cp}^{0 \rightarrow 512} = \frac{512}{2} = 256 \text{ МВт}$ – средняя нагрузка блока при наборе нагрузки с 0 МВт до 512 МВт.

17. Расход условного топлива на период набора нагрузки при пуске из горячего состояния:

$$B_{y(ocm.z)}^{0 \rightarrow 800} = B_y^{ocm} = 141,6 \text{ т/ч}.$$

18. Расход условного топлива на пуск блока из горячего и холодного состояний (после простоя в 7 часов и 48 часов): /1/

$$B_{\text{пуск}}^{\text{з.с.}} = 234,2 \text{ т.у.т.};$$

$$B_{\text{пуск}}^{\text{х.с.}} = 427,6 \text{ т.у.т.}$$

В данные расходы включены все пусковые потери, а именно на растопку котла, толчок и разворот турбины, синхронизацию и включение в сеть генератора, а также учтено снижение экономичности работы блока на частичных нагрузках в период нагружения.

19. Суточный расход условного топлива на один блок с учетом его пуска и работы на переменной и номинальной нагрузке:

– при пуске из холодного состояния:

$$B_{y(\text{ост.х})}^{\text{сут}} = B_y^{\text{ном}} \cdot \tau_{\text{ном}} + B_{\text{пуск}}^{\text{х.с.}} + B_{y(\text{ост.х})}^{0 \rightarrow 512} \cdot \tau_{0 \rightarrow 512} + B_{y(\text{ост.х})}^{512 \rightarrow 800} \cdot \tau_{512 \rightarrow 800} + B_y^{\text{ост}} \cdot \tau_{\text{ост}};$$

$$B_{y(\text{ост.х})}^{\text{сут}} = 248 \cdot 13 + 427,6 + 81,92 \cdot 1,71 + 208,86 \cdot 2 + 141,6 \cdot 2 = 4492,6 \text{ т.у.т.};$$

– при пуске из горячего состояния:

$$B_{y(\text{ост.г})}^{\text{сут}} = B_y^{\text{ном}} \cdot \tau_{\text{ном}} + B_{\text{пуск}}^{\text{з.с.}} + 2 \cdot B_y^{\text{ост}} \cdot \tau_{\text{ост}};$$

$$B_{y(\text{ост.г})}^{\text{сут}} = 248 \cdot 13 + 234,2 + 2 \cdot 141,6 \cdot 2 = 4024,6 \text{ т.у.т.}$$

20. Недельный расход условного топлива на один блок при его пусках и остановках:

$$B_{y(\text{ост})}^{\text{нед}} = B_{y(\text{ост.х})}^{\text{сут}} + 4 \cdot B_{y(\text{ост.г})}^{\text{сут}};$$

$$B_{y(\text{ост})}^{\text{нед}} = 4492,6 + 4 \cdot 4024,6 = 20591 \text{ т.у.т.}$$

21. Недельный расход условного топлива на неостанавливаемые блоки:

$$B_{y(\text{неост.3б})}^{\text{нед}} = 3 \cdot B_{y(\text{неост})}^{\text{нед}};$$

$$B_{y(\text{неост.3б})}^{\text{нед}} = 3 \cdot 37830,07 = 113490,21 \text{ т.у.т.}$$

22. Суммарный недельный расход условного топлива на станцию:

$$B_{y(\text{сумм})}^{\text{нед}} = B_{y(\text{неост.3б})}^{\text{нед}} + B_{y(\text{ост.г})}^{\text{нед}};$$

$$B_{y(\text{сумм})}^{\text{нед}} = 113490,21 + 20591 = 134081,21 \text{ т.у.т.}$$

23. Годовой расход условного топлива на станцию:

$$B_y^{\text{год}} = n \cdot B_{y(\text{сумм})}^{\text{нед}};$$

$$B_y^{\text{год}} = 42 \cdot 134081,21 = 5631410,82 \text{ т.у.т.,}$$

где: $n = 42$ – количество рабочих недель в году.

24. Выработка электрической энергии за рабочий день неостанавливаемым блоком и пуском останавливаемого из холодного состояния:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{p(\text{неост.х})} &= N_0 \cdot \tau_{\text{ном}} + N_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{пр}} + N_{682,67 \rightarrow 512} \cdot \tau_{682,67 \rightarrow 512} + N_{512 \rightarrow 800} \cdot \tau_{512 \rightarrow 800} + \\ &+ N_{800 \rightarrow 682,67} \cdot \tau_{800 \rightarrow 682,67}; \\ \mathcal{E}_{p(\text{неост.х})} &= 800 \cdot 13 + 682,67 \cdot 5,29 + 597,335 \cdot 1,71 + 656 \cdot 2 + 741,335 \cdot 2 = \\ &= 17827,41 \text{ МВт} \cdot \text{ч}\end{aligned}$$

где: $N_{682,67 \rightarrow 512}$, $N_{512 \rightarrow 800}$, $N_{800 \rightarrow 682,67}$ – среднее значение нагрузки станции в переменных частях графика нагрузки;

25. Выработка электрической энергии за рабочий день неостанавливаемым блоком и пуском останавливаемого из горячего состояния:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{p(\text{неост.г})} &= N_0 \cdot \tau_{\text{ном}} + N_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{пр}} + 2 \cdot N_{800 \rightarrow 682,67} \cdot \tau_{800 \rightarrow 682,67}; \\ \mathcal{E}_{p(\text{неост.г})} &= 800 \cdot 13 + 682,67 \cdot 7 + 2 \cdot 741,335 \cdot 2 = 18144 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

26. Выработка электрической энергии за рабочий день останавливаемым блоком при пуске из холодного состояния:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{p(\text{ост.х})} &= N_0 \cdot \tau_{\text{ном}} + N_{0 \rightarrow 512} \cdot \tau_{0 \rightarrow 512} + N_{512 \rightarrow 800} \cdot \tau_{512 \rightarrow 800} + N_{800 \rightarrow 0} \cdot \tau_{800 \rightarrow 0}; \\ \mathcal{E}_{p(\text{ост.х})} &= 800 \cdot 13 + 256 \cdot 1,71 + 656 \cdot 2 + 400 \cdot 2 = 12949,76 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

27. Выработка электрической энергии за рабочий день останавливаемым блоком при пуске из горячего состояния:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{p(\text{ост.г})} &= N_0 \cdot \tau_{\text{ном}} + 2 \cdot N_{800 \rightarrow 0} \cdot \tau_{800 \rightarrow 0}; \\ \mathcal{E}_{p(\text{ост.г})} &= 800 \cdot 13 + 2 \cdot 400 \cdot 2 = 12000 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

28. Выработка электрической энергии за нерабочий день: /1/

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{пр}} &= 24 \cdot N_{\text{пр}}; \\ \mathcal{E}_{\text{пр}} &= 24 \cdot 682,67 = 16384 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

29. Годовая выработка электрической энергии:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{год}}^{KЭС} &= 42 \cdot [\mathcal{E}_{p(\text{ост.х})} + 3 \cdot \mathcal{E}_{p(\text{неост.х})} + 4 \cdot (\mathcal{E}_{p(\text{ост.г})} + 3 \cdot \mathcal{E}_{p(\text{неост.г})}) + 2 \cdot 3 \cdot \mathcal{E}_{\text{пр}}]; \\ \mathcal{E}_{\text{год}}^{KЭС} &= 42 \cdot [12949,76 + 3 \cdot 17827,41 + 4 \cdot (12000 + 3 \cdot 18144) + 2 \cdot 3 \cdot 16384] = \\ &= 18079488 \text{ МВт} \cdot \text{ч}\end{aligned}$$

где: 42 – количество рабочих недель в году;

З – количество неостанавливаемых блоков.

Годовая выработка электроэнергии равна годовой выработке в режиме без остановов блока, что подтверждает правильность составления графика изменения нагрузки. Следовательно, число часов использования установленной мощности и коэффициент годовой нагрузки в этом и последующих режимах останутся такими же, как и в режиме без останова блоков:

$$T_{уст} = 5649,84 \text{ ч}, \quad f = 0,645.$$

30. Среднегодовой удельный расход условного топлива брутто: /1/

$$b_{зод}^{брутто} = \frac{B_y^{зод}}{\mathfrak{E}_{зод}^{КЭС}};$$

$$b_{зод}^{брутто} = \frac{5631410,82}{18079488} = 0,311 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}.$$

31. Среднегодовой удельный расход условного топлива нетто: /1/

$$b_{зод}^{нетто} = \frac{B_y^{зод}}{\mathfrak{E}_{зод}^{КЭС}(1 - k_{сн})};$$

$$b_{зод}^{нетто} = \frac{5631410,82}{18079488 \cdot (1 - 0,0275)} = 0,320 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч},$$

где: $k_{сн} = 0,0275$ – среднегодовой коэффициент собственных нужд. /1/

Список использованной литературы

1. Выбор оптимального способа прохождения энергоблоками провала электрической нагрузки КЭС: Методические указания к курсовой работе по дисциплине “Режимы работы и эксплуатации ТЭС”. – Чита: ЧитГУ, 2004.
2. Качан. А. Д., Муковозчик Н.В. Техничко-экономические основы проектирования тепловых электрических станций (курсовое проектирование). – Минск: Высш. шк., 1983.
3. Котлы большой мощности – отраслевой каталог. – М.: НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ, 1985.

4. Трухний А. Д. Стационарные паровые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 240 с.: ил.
5. Ривкин С. А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.
6. РД. 34.25.506 “Типовая инструкция по пуску из различных тепловых состояний и останову моноблока мощностью 800 *MВт* с котлом ТГМП–204 и турбиной К–800–240”
7. С. В. Усов, С. А. Казаров. Режимы тепловых электростанций. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 240с., ил.