

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА ВЕЛОКС.

Г. И. Фукс и Н. А. Новиков

Тепловой расчет котла Велокс имеет особенность в необходимости определить и увязать между собой величины мощности газовой турбины, газового и воздушного компрессоров.

На основе знания этих мощностей выяснится величина потребной добавочной мощности.

Мощность газовой турбины лимитируется, с одной стороны, температурой газов перед газовой турбиной (не больше 500°C). С другой стороны, необходимо иметь за газовой турбиной подогреватель питательной воды. Эти жесткие условия ограничивают тепловой перепад газовой турбины. Поэтому в большинстве случаев этого теплоперепада недостаточно для создания мощности, необходимой для работы компрессоров. Приходится ставить дополнительные источники мощности — электрический мотор или паровую турбину.

Этот добавочный двигатель служит не только для постоянной добавки своей работы к работе газовой турбины, но также для включения при пуске котла, когда отсутствует возможность использования отходящих газов, а также и для регулирования котла. Вся работа, затраченная на компрессоры, в конечном счете идет на подогрев воздуха и газа, поступающего в топку.

Незнание необходимой добавочной мощности не позволяет поэтому наметить баланс котла Велокс так, как в обычных системах котлов. Для определения необходимой (при заданных величинах потерь) добавочной мощности на 1 кг (НМ³) топлива n исходим из уравнения баланса

$$Q_n^p + \frac{860 \cdot N \cdot \eta}{B} = \frac{D \cdot \Delta i}{B} + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1)$$

и уравнения к. п. д.

$$\eta_y = \frac{\frac{D \cdot \Delta i}{B}}{Q_n^p + \frac{860 \cdot N \cdot \eta}{B}} \quad (2)$$

Здесь обозначено:

Q_n^p — теплотворная способность топлива $\frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3} \left(\frac{\text{кал}}{\text{кг}} \right)$;

N — добавочная мощность в квт;

η — полный к. п. д. компрессоров $\left(\eta = \frac{\text{мощность в газе}}{\text{мощность в двигателе}} \right)$;

B — расход топлива $\frac{\text{НМ}^3}{\text{час}} \left(\frac{\text{кг}}{\text{час}} \right)$;

Q_2 — потеря котла с уходящим газом $\frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3} \left(\frac{\text{кал}}{\text{кг}} \right)$;

Q_3 — потеря котла с химической неполнотой горения;
 Q_4 — потеря котла с механическим недожогом горения;
 Q_5 — потеря котла в окружающую среду;

Δi — расход тепла на получение пара $\frac{\text{кал}}{\text{кг}}$.

Вводим $n = \frac{860 \cdot N \cdot \eta}{B} \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3} \left(\frac{\text{кал}}{\text{кг}} \right)$ и определяем из уравнений (1) и

(2) расход топлива и добавочную мощность

$$B = \frac{D \cdot \Delta i}{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5} \cdot \frac{1 - \eta_v}{\eta_v}, \quad (3)$$

$$n = \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}{1 - \eta_v} - Q_n^p. \quad (4)$$

Из соотношения (2) очевидно, что превышение добавочной мощности над необходимой невыгодно, так как это ведет к снижению к. п. д. установки, т. е., в конечном счете, ведет к перерасходу топлива.

Уравнения (3) и (4) позволяют построить графики

$$B = f_1(\eta_v) \text{ и } n = f(\eta_v)$$

Мощность n_0 , потребная для привода компрессоров (воздушного и газового), определяется при помощи $T-S$ — диаграммы, построенной для воздуха и топливного газа (рис. 1).

Очевидно

$$n_0 = n_{gm} + n',$$

где n_{gm} — мощность газовой турбины,

n' — потребная добавочная мощность.

Для определения мощности, выдаваемой газовой турбиной, надо задаться работой хвостовой части котла. Как правило, экономически выгодно использовать на экономайзерной поверхности максимальный теплоперепад, оставив на долю котла по возможности одну лишь генерацию пара. Препятствием в этом отношении может быть только недопустимо высокая температура в газовой турбине.

Определяем количество тепла, идущее на подогрев воды в водяном экономайзере

$$Q_{вэ} = \frac{D \cdot \Delta t_{э}}{B} + Q_5^э,$$

где $\Delta t_{э} = t''_{um} - t'_{um}$,

$Q_5^э$ — потеря в окружающую среду экономайзером $\frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3} \left(\frac{\text{кал}}{\text{кг}} \right)$.

Откладываем величину $Q_{вэ}$ на построенной для данного состава дымовых газов $I-T$ диаграмме, на ординате температуры уходящих газов. Этим приемом находим температуру перед водяным экономайзером, т. е. температуру газов за газовой турбиной

$$T'_{вэ} = T''_{gm}.$$

Этот подсчет повторяем для нескольких значений η_v (т. е. для соответствующих значений расхода топлива), при соответствующих температурах перед водяным экономайзером.

Задаемся практическим перепадом давления в газовой турбине и при помощи $T-S$ и $I-T$ диаграмм для дымовых газов определяем адиабатический теплоперепад при различных η_v (соответствующих различным T''_{gm}).

Мощность на валу турбины выразится: $n_{zt} = AL_{ad}^{zt} \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3} \left(\frac{\text{кал}}{\text{кг}} \right)$.

А зная мощность газовой турбины и необходимую мощность, найдем величину добавочной мощности, как функцию от η_y .

Строим кривую $n' = f(\eta_y)$ (рис. 2). Точка пересечения кривых $n = f(\eta_y)$ и $n' = f(\eta_y)$ соответствует определенному режиму котла, при котором являются увязанными между собой мощность газовой турбины, мощность добавочного источника энергии и выбранный расчетный к. п. д. установки. Таким образом завершен предварительный расчет котла Велокс.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Определить величину добавочной мощности и к. п. д. котла Велокс производительностью $D = 90 \frac{\text{тон}}{\text{час}}$, с параметрами пара $P = 17 \text{ ата}$;

$T_n = 375^\circ\text{C}$, работающего на торфяном газе с $Q_n^p = 3030 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3}$. Ранее опре-

делены $\alpha V_0 = 3,01 \frac{\text{НМ}^3}{\text{НМ}^3}$; $V_2 = 3,976 \frac{\text{НМ}^3}{\text{НМ}^3}$.

1. Задаемся величинами

$$\eta_y = 0,9; 0,93; 0,94; 0,95$$

и подсчитываем для этих значений следующие величины:

$$B; n; n_0; n_{zt}; Q_{вз}; n'.$$

Показываем расчет для одного значения $\eta_y = 0,9$, остальные расчеты сводим в таблицу и изображаем на рис. 3.

1) Расход топлива

$$B = \frac{D \cdot \Delta i}{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5} \frac{1 - \eta_y}{\eta_y}.$$

Ранее определено обычным путем

$$Q_2 = 107 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3},$$

$$Q_5 = 91,4 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3},$$

$$Q_3 = Q_4 = 0 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3},$$

$$B = \frac{9000 \cdot 695}{107 + 91,4} \cdot \frac{1 - 0,9}{0,9} = 35080 \frac{\text{НМ}^3}{\text{час}}.$$

2) Добавочная мощность из балансового уравнения:

$$\begin{aligned} n &= \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}{1 - \eta_y} - Q_n^p = \frac{107 + 91,4}{1 - 0,9} - 3030 = \\ &= -1046 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3} \sim -265 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^2 \text{ д.г.}} \end{aligned}$$

3) При помощи построенной $T-S$ диаграммы для торфяного газа и воздуха определяем мощность воздушного и газового компрессоров.

Мощность воздуходувки.
Имеем заданными

$$P_1 = 1 \text{ ата}; t_1 = 20^\circ\text{C};$$

$$P_2 = 3 \text{ ата}.$$

Строим процесс воздуходувки на диаграмме $T-S$ для воздуха (точки 1—2) и находим величину адиабатической работы сжатия $AL_{ад} = 33 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ воздуха}}$.

Принимая $\eta_{ад} = 0,72$, находим

$$AL_{\text{действ.}} = \frac{33}{0,72} = 45,7 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ воз.}}$$

Переводим работу сжатия на 1 НМ^3 дымовых газов

$$AL_{\text{дв.}} = \frac{AL_{\text{ад.}} \cdot \alpha \cdot V_0}{V_2} = \frac{45,7 \cdot 3,01}{3,975} = 34,8 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

Мощность газодувки

$$P_1 = 1,03 \text{ ата}; t_1 = 20^\circ\text{C}; P_2 = 3 \text{ ата}.$$

Строим процесс газодувки в $T-S$ диаграмме для топливного газа

$$(\text{точки 1—2}) \text{ и находим } AL_{\text{д.}} = \frac{40}{0,72 \cdot 3,976} = 14 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

Суммарная мощность

$$n_0 = AL'_{\text{дв.}} + AL_{\text{д.}} = 34,8 + 14 = 48,8 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

Приводим мощность компрессоров к мощности на валу

$$n_0 = \frac{48,8}{\eta_m} = \frac{48,8}{0,95} = 51,4 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

4) Тепло, идущее на подогрев воды в экономайзере,

$$Q'_{\text{вз.}} = \frac{D \cdot \Delta t_{\text{вз.}}}{V_2 \cdot B} + \frac{Q_5^{\text{э}}}{V_2} = \frac{90000 \cdot 81}{3,976 \cdot 35080} + \frac{17,1}{3,976} = 56,6 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

5) По $I-T$ диаграмме для дымовых газов находим $T'_{\text{вз.}} = T''_{\text{гт.}} = 240^\circ\text{C}$.

6) Задаемся перепадом давления в газовой турбине $\Delta p_{\text{гт.}} = 1,4 \text{ ата}$ и определяем адиабатический теплоперепад при помощи диаграмм $T-S''$ и $I-T$ для дымовых газов.

Находим величину $n_{\text{гт.}}$

$$n_{\text{гт.}} = 24,5 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

7) Добавочная мощность

$$n' = n_0 - n_{\text{гт.}} = 51,4 - 24,5 = 26,9 \frac{\text{кал}}{\text{НМ}^3 \text{ д. г.}}$$

Строим кривые (рис. 2)

$$1) n = f(\eta_{\text{г}})$$

$$2) n' = f'(\eta_{\text{г}})$$

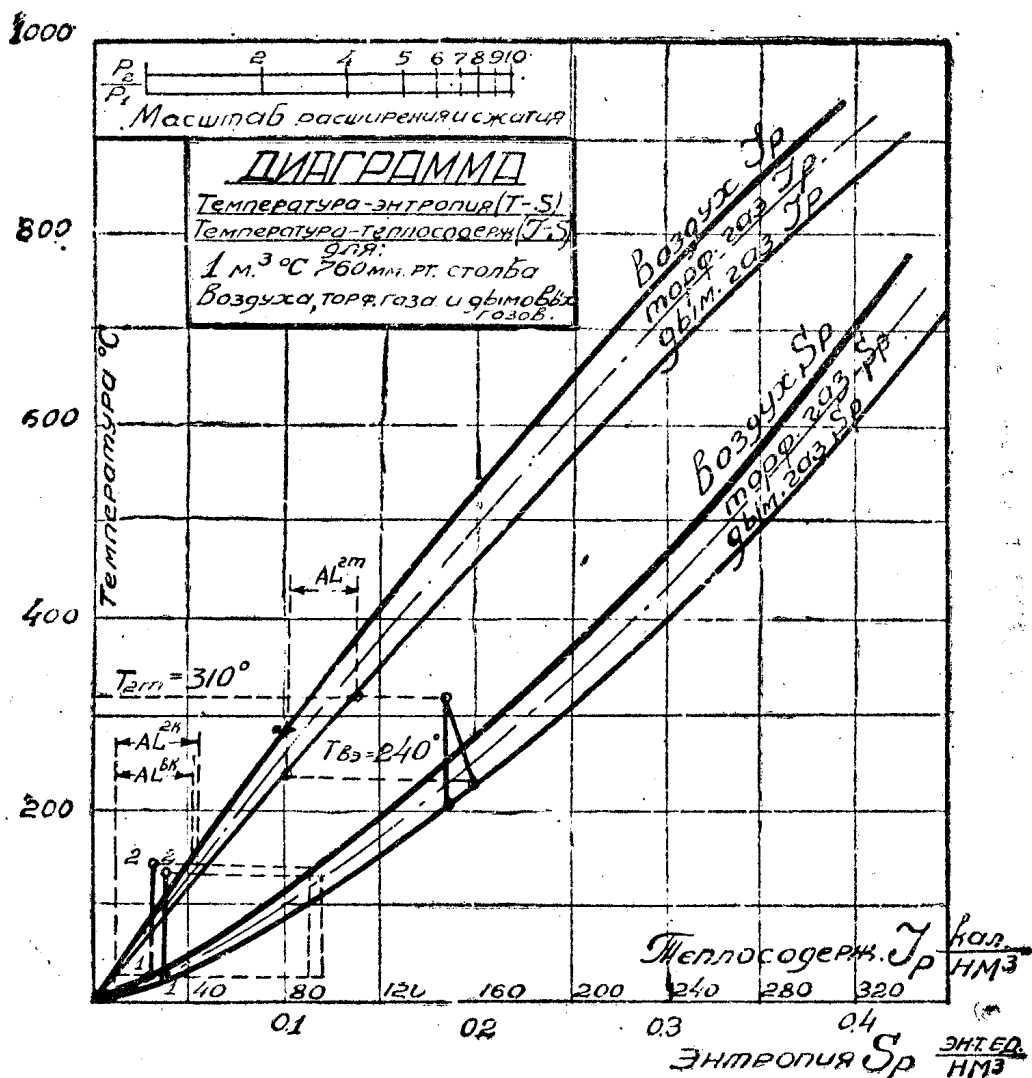


Рис. 1.

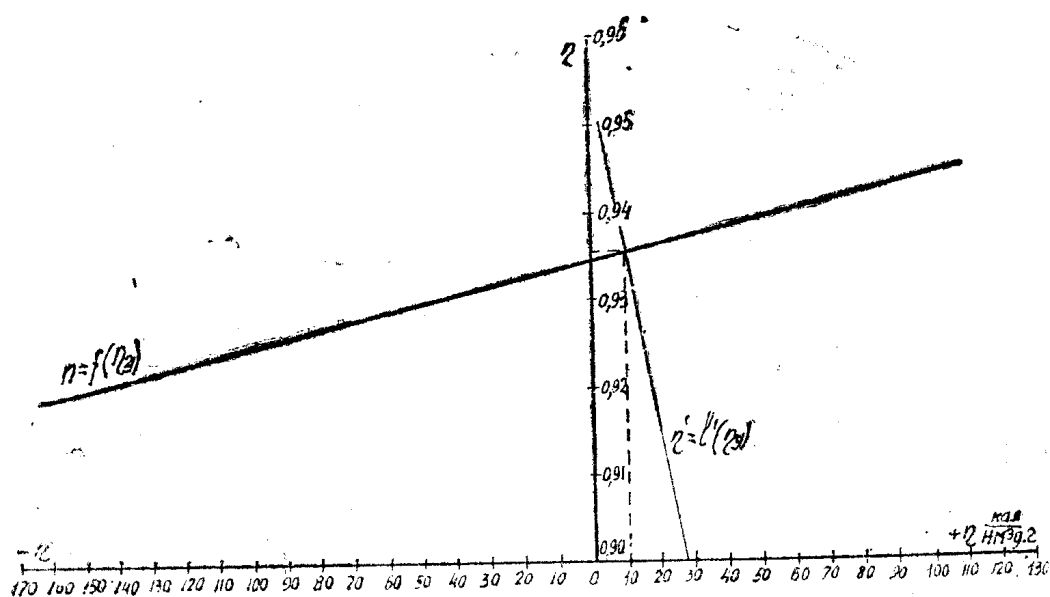


Рис. 2.

Точка пересечения кривых соответствует величине добавочной мощности

$$n = 10 \frac{\text{кал}}{\text{HN}^3 \text{ д. г.}}$$

и к. п. д. $\eta_y = 0,935$.

В переводе в киловатты имеем добавочную мощность

$$N = \frac{B \cdot n \cdot V_2}{860} = \frac{19830 \cdot 10 \cdot 3,976}{860} = 915 \text{ кВт}$$

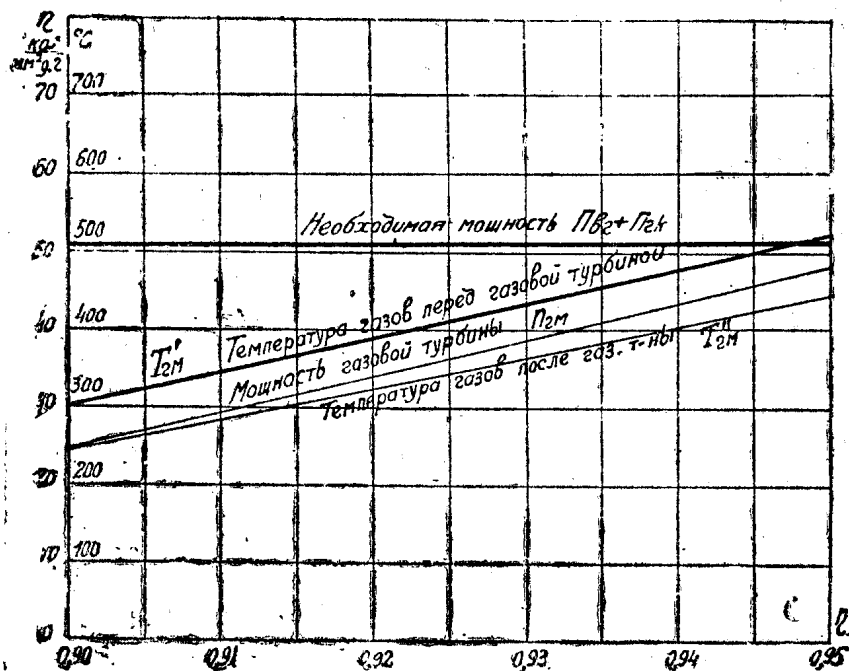


Рис. 3.

Таблица 1.

Величина	η_y	B	D/B	n	$Q'_{вз}$	$T'_{вз}$	n_0	$n_{гт}$	n'	$T'_{гт}$
Размерность		$\frac{\text{HM}^3}{\text{час}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{HM}^3}$	$\frac{\text{кал}}{\text{HM}^3 \text{ д. г.}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{HM}^3 \text{ д. г.}}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\text{кал}}{\text{HM}^3 \text{ д. г.}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{HM}^3 \text{ д. г.}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{HM}^3 \text{ д. г.}}$	$^{\circ}\text{C}$
	0,9	35080	2,52	-265	56,6	240	51,4	24,5	+26,9	303
	0,92	27430	2,287	-154	80,0	310	51,4	34,2	+17,2	390
	0,93	24050	3,73	-68	92,1	350	51,4	38,4	+13,0	440
	0,935	19830	4,54	+10	103	375	51,4	41,4	+10	465
	0,94	18850	4,76	+68	108	395	51,4	43,4	+8,0	475
	0,95	16800	5,31	+206	130	425	51,4	47,1	+3,3	510