Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXV, вып. 1, 1973 г.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ И МЕТОДИКА ПОДБОРА ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ ПАРОВЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА РУДНИЧНОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

К. А. Долгов

В работе Л. П. Северина и К. А. Долгова приведена формула

$$t_{под} = t_{п} - \left(\frac{Gc_p - \frac{kF}{2}}{Gc_p + \frac{kF}{2}} \right)^n (t_{п} - t_{нар}), \qquad (1)$$

где $t_{под}$ — температура подогрева воздуха; $t_{п}$ — температура насыщенного пара; G массовый расход воздуха; c_p — массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении; k — коэффициент теплопередачи от пара к воздуху; F — поверхность нагрева одного ряда калориферов; n — число рядов калориферных установок; $t_{нар}$ — температура наружного воздуха.

Известно, что коэффициент теплопередачи может быть представлен в следующем виде **:

$$k = a(\rho v)^q, \qquad (2)$$

где (ρv) — массовая скорость воздуха, $кг/(м^2 \cdot сек)$; a и q — коэффициенты, зависящие от модели калорифера.

Число калориферов ml в одном ряду установки определяется равенством

$$ml = \frac{G}{3600(\rho v) f k}, \qquad (3)$$

---

* Северин Л. П., Долгов К. А. Конечная температура нагрева вентиляционного воздуха в многорядных рудничных калориферных установках. См. настоящий сборник.

** Шемаханов М. М. Отепление шахтных стволов. Госгортехиздат, 1960.

где m и l число калориферов соответственно по фронту и высоте; $f_к$ — площадь живого сечения одного калорифера.

Поверхность нагрева F одного ряда калориферов

$$F = m\,l\,F_к = \frac{G}{3600\,(\rho v)}\,\frac{F_к}{f_к}, \tag{4}$$

где $F_к$ — поверхность нагрева одного калорифера.

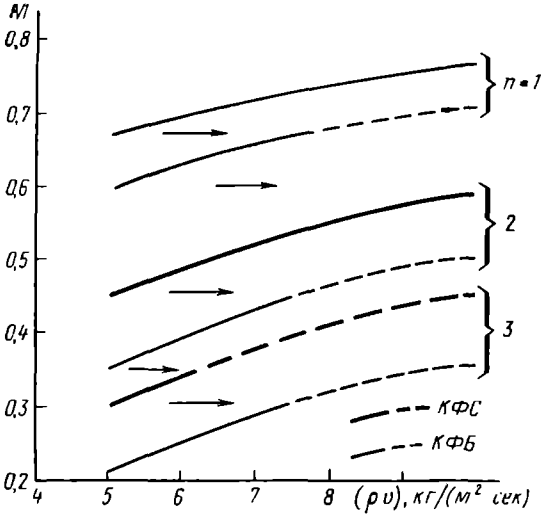
Подставляя выражения (2) и (4) в формулу (1), получаем

$$M = \frac{t_п - t_{под}}{t_п - t_{нар}} = \left(\frac{c_p - \frac{1}{2} \cdot \frac{F_к}{f_к} \cdot \frac{a}{3600} \cdot \frac{1}{(\rho v)^{1-q}}}{c_p + \frac{1}{2} \cdot \frac{F_к}{f_к} \cdot \frac{a}{3600} \cdot \frac{1}{(\rho v)^{1-q}}} \right)^n \tag{5}$$

Величину M, зависящую от температуры пара, наружного и подогретого воздуха, назовем температурным критерием. Для калориферов модели КФ имеем: $a = 10 \cdot 4{,}186$; $q = 0{,}42$; $(F_к/f_к)_{КФС} = 86$; $(F_к f_к)_{КФБ} = 110$. Подставляя численные значения этих величин в формулу (5) при $c_o = 0{,}24 \cdot 4{,}186$ *кдж/(кг · град)*, получаем

$$M_{КФС} = \left(\frac{0{,}24 - 0{,}1194 \frac{1}{(\rho v)^{0{,}58}}}{0{,}24 + 0{,}1194 \frac{1}{(\rho v)^{0{,}58}}} \right)^n \tag{6}$$

$$M_{КФБ} = \left(\frac{0{,}24 - 0{,}153 \frac{1}{(\rho v)^{0{,}58}}}{0{,}24 + 0{,}153 \frac{1}{(\rho v)^{0{,}58}}} \right)^n \tag{7}$$



Зависимость $M = f(\rho v)$.

Известно, что наиболее оптимальные условия для работы калориферных установок моделей КФ имеют место при $5 \leqslant (\rho v) \leqslant 10$ *кг/м² сек* (см. рисунок). Как показано ниже, на практике нет необходимости применять число рядов калориферов, большее чем 3.

По известному значению температурного критерия M может быть определена массовая скорость (ρv). Из формулы (5) следует

$$(\rho v) = \left(\frac{\frac{F_к}{f_к} \quad \frac{a}{7200}}{c_p} \quad \frac{1 + M^{\frac{1}{n}}}{1 - M^{\frac{1}{n}}} \right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{8}$$

Тогда при численных значениях a, c_p и q, приведенных выше, получим для калориферов:

КФС

$$(\rho v) = 0{,}301 \left(\frac{1 + M^{\frac{1}{n}}}{1 - M^{\frac{1}{n}}} \right)^{1{,}724} \tag{9}$$

КФБ

$$(\rho v) = 0{,}459 \left(\frac{1 + M^{\frac{1}{n}}}{1 - M^{\frac{1}{n}}} \right)^{1{,}724} \tag{10}$$

Рассмотрим следующие случаи значений температурного критерия: 1) $0{,}711 < M \leqslant 0{,}769$. Как следует из табл. 1, при $n=1$ этим значениям M соответствует только один ряд калориферов КФС; 2) $0{,}674 \leqslant M \leqslant 0{,}711$.

Таблица 1

Предельные значения температурного критерия M по формулам (6) и (7)

Модель калорифера	$n=1$		$n=2$		$n=3$	
	M_{min}	M_{max}	M_{min}	M_{max}	M_{min}	M_{max}
КФС	0,674	0,769	0,454	0,590	0,306	0,454
КФБ	0,599	0,711	0,358	0,505	0,215	0,355

Этим значениям соответствует один ряд калориферов КФС или КФБ.

Стоимость подогрева 1 *кг* воздуха определяется формулой

$$C = \frac{e\,b\,n}{3600r} \quad \frac{F_к}{f_к} \quad \frac{1}{(\rho v)} + \frac{Э\,n\,A\,(\rho v)^{1{,}7}}{3600 \quad 102\rho\,\eta}, \tag{11}$$

где e — коэффициент годовых отчислений на амортизацию и ремонт; b — стоимость поверхности нагрева калорифера; $Э$ — стоимость электроэнергии; r — продолжительность работы установки; η — к. п. д. вентилятора калориферов; A — коэффициент, зависящий от модели калорифера; ρ — плотность воздуха.

Отношение стоимости нагрева 1 *кг* воздуха для калориферов КФС и КФБ

$$\frac{C_{КФС}}{C_{КФБ}} = \frac{\frac{e\,b}{r}\left(\frac{F_к}{f_к}\right)_{КФС} \frac{1}{(\rho v)_{КФС}} + \frac{Э\,A_{КФС}}{102\rho\,\eta}(\rho v)^{1{,}7}_{КФС}}{\frac{e\,b}{r}\left(\frac{F_к}{f_к}\right)_{КФБ} \frac{1}{(\rho v)_{КФБ}} + \frac{Э\,A_{КФБ}}{102\rho\,\eta}(\rho v)^{1{,}7}_{КФБ}} \tag{12}$$

Определим предельные значения (ρv) для указанных диапазонов изменения M. По формулам (9) и (10) при $n=1$ находим

$$5 \leqslant (\rho v)_{\text{КФС}} \leqslant 6{,}47 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{сек)};$$

$$7{,}72 \leqslant (\rho v)_{\text{КФБ}} \leqslant 10 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{сек)}.$$

Полагая $e=0{,}15$, $b=3$ *руб/м*^{2}, $Э=0{,}022$ *руб/(квт·ч)*, $r=3000$ *ч*, $\rho = 1{,}2$ *кг/м*^{3}, $\eta = 0{,}5$, $A_{\text{КФС}} = 0{,}23$, $A_{\text{КФБ}} = 0{,}28$, при $(\rho v)_{\text{КФС}} = 6{,}47$, $(\rho v)_{\text{КФБ}} = 7{,}72$ *кг/(м*$^2 \cdot$ *сек)* получаем $C_{\text{КФС}}/C_{\text{КФБ}} = 0{,}81$. При других значениях (ρv), лежащих в указанных для калориферов КФС и КФБ диапазонах, это отношение еще меньше.

Таким образом, эксплуатация однорядной установки из калориферов КФС в указанных диапазонах температурного критерия обходится дешевле, чем эксплуатация однорядной установки из калориферов КФБ. Подобным же образом можно проанализировать целесообразность применения калориферов КФБ и КФС и при других значениях температурного критерия (табл. 2).

Таблица 2

Применение калориферов

Наименование	Температурный критерий M					
	0,769—0,674	0,674—0,599	0,599—0,454	0,454—0,358	0,358—0,306	0,306—0,215
Тип калорифера	КФС	КФБ	КФС	КФБ	КФС	КФБ
Число рядов	1	1	2	2	3	3

Тепловой расчет и методика подбора калориферов для паровой калориферной установки проводится в следующем порядке.

1. По известному значению температурного критерия M определяют на основании табл. 2 или графика (см. рисунок) модель и число рядов калориферов.

2. По формулам (9) или (10) определяют расчетную массовую скорость $(\rho v)_{\text{расч}}$.

3. По формуле (3) при известной расчетной массовой скорости и выбранной по ГОСТ 7201—54 максимально возможной величине площади живого сечения определяют число калориферов в одном ряду. Дробные значения ml округляют при этом до ближайшего целого числа в бóльшую сторону.

4. По формуле (3) при известном числе калориферов в ряду и известной площади живого сечения калорифера определяют действительную массовую скорость (ρv). При этом должно быть

$$(\rho v) \leqslant (\rho v)_{\text{расч}}. \qquad (13)$$

Если величина (ρv) выходит за пределы оптимальных значений, т. е. $(\rho v) < 5$ *кг/(м*$^2 \cdot$ *сек)*, то величину площади живого сечения калорифера следует уменьшить, т. е. следует взять калорифер той же модели, но с меньшим номером, при соблюдении условия (13)

5. По формулам (6) или (7) определяют новое действительное значение температурного критерия $M_д$. При этом $M_д \leqslant M$.

6. По формуле (5) определяют температуру нагрева воздуха.

Выбор максимально возможной площади живого сечения калорифера (пункт 3) уменьшает число калориферов в установке. Это облег-

чает монтаж установки и в общем случае, как это можно показать, снижает ее массу.

Тепловой расчет и выбор числа рядов и модели калорифера можно проводить и при помощи графика (см. рисунок). В этом случае по заданному температурному критерию графически определяют расчетную массовую скорость, число рядов и модель калорифера, а после определения числа калориферов в ряду и номера калорифера по действительной массовой скорости графически находят новое значение температурного критерия.

Рассмотренные пределы изменений величины температурного критерия охватывают весьма широкий диапазон практически возможных случаев нагрева воздуха в рудничных калориферных установках. Так, например, если ориентироваться на низкую температуру пара $t_п = 104{,}25°$ С и минимальную температуру воздуха для Кузнецкого, Карагандинского и Печорского бассейнов $t_{нар} = -50°$ С, то величина температурного критерия

$$M = \frac{104{,}25 - 70}{104{,}25 + 50} = \frac{34{,}25}{154{,}25} = 0{,}222 > 0{,}215.$$

Значение температурного критерия можно в данном случае повысить, увеличив температуру пара.

Пример. Провести тепловой расчет, компоновку, выбрать модель и номер калорифера для калориферной установки Сангарского рудника Якутской АССР при следующих данных: $G = 30\,000$ *кг/ч*, $t_п = 142{,}9°$ С, $t_{нар} = -61°$ С, $t_{пол} = 70°$ С.

1. Определяем величину температурного критерия

$$M = \frac{t_п - t_{пол}}{t_п - t_{нар}} = \frac{142{,}9 - 70}{142{,}9 + 61} = 0{,}358.$$

Так как для выбранной модели $M_д < M$, то на основании табл. 1 заключаем, что следует применить три ряда калориферов КФС.

2. По формуле (9) определяем значение расчетной массовой скорости

$$(\rho v)_{расч} = 0{,}301 \left(\frac{1 + M^{\frac{1}{3}}}{1 - M^{\frac{1}{3}}} \right)^{1{,}724} = 0{,}301 \left(\frac{1 + 0{,}358^{\frac{1}{3}}}{1 - 0{,}358^{\frac{1}{3}}} \right)^{1{,}724}$$

$$= 6{,}37 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{сек)}.$$

3. Для выбранного номера калорифера КФС-11 с площадью $f_к = 0{,}638$ *м*^{2} (ГОСТ 7201—54) по формуле (3) определяем число калориферов в одном ряду

$$m l = \frac{G}{3600\,(\rho v) f_к} = \frac{30\,000}{3600 \quad 6{,}37 \quad 0{,}638} = 2{,}05.$$

Принимаем $ml = 3 \cdot 1$.

4. Определяем по формуле (3) действительную массовую скорость

$$(\rho v) = \frac{G}{3600 \quad m l f_к} = \frac{30\,000}{3600 \quad 3 \quad 0{,}638} = 4{,}35 \text{ кг/(м}^2 \quad \text{сек)}.$$

Данное значение массовой скорости меньше предельного оптимального значения $(\rho v)=5$ *кг*/(*м*$^2\cdot$*сек*), поэтому выбираем калорифер КФС-9 с площадью живого сечения $f_к=0{,}486$ *м*^{2} (ГОСТ 7201—54). При этом величина действительной массовой скорости

$$(\rho v)=\frac{30\,000}{3600\quad 3\quad 0{,}486}=5{,}72\ кг/(м^2\quad сек).$$

5. По формуле (6) при $n=3$ определяем действительное значение температурного критерия

$$M_д=\left(\frac{0{,}24-0{,}1194\dfrac{1}{(\rho v)^{0{,}58}}}{0{,}24+0{,}1194\dfrac{1}{(\rho v)^{0{,}58}}}\right)^3=\left(\frac{0{,}24-0{,}1194\dfrac{1}{5{,}72^{0{,}58}}}{0{,}24+0{,}1194\dfrac{1}{5{,}72^{0{,}58}}}\right)^3=0{,}335.$$

6. По формуле (5) определяем температуру нагрева воздуха

$$t_{под}=t_п-M_д(t_п-t_{нар})=142{,}9-0{,}335\,(142{,}9+61)=74{,}6^\circ\ С.$$

Выводы

1. Предлагаемый метод теплового расчета паровых калориферных установок по температурному критерию позволяет провести тепловой расчет, компоновку, выбор модели и номера калорифера с наивыгоднейшими экономическими показателями при работе установки.

2. Для облегчения расчетов может быть использован график $M=f(\rho v)$ при $n=1$; 2 и 3.

3. Значения температурных критериев, анализируемых в табл. 2, охватывают широкий диапазон практически возможных случаев нагрева воздуха в рудничных калориферных установках.