

О ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУХОПРОВОДА КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Б. М. ТИТОВ, А. Н. КАБАКОВ

Для предупреждения нагарообразования и взрыва компрессорной установки температуру сжатого воздуха рекомендуется ограничивать 140°C [1]. По мере движения воздуха по трубопроводу происходит его охлаждение с изменением температуры по логарифмическому закону [2]

$$\ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} = \frac{\kappa_{\text{мп}} \cdot l}{c_p \cdot G}, \quad (1)$$

где T_1 — температура в начале трубопровода, °K;

T_2 — температура в конце трубопровода, °K;

T_0 — температура окружающей среды, °K;

$\kappa_{\text{мп}}$ — коэффициент теплопередачи от сжатого воздуха в окружающую среду, ккал/час м °K;

l — длина трубопровода, м;

c_p — теплоемкость сжатого воздуха, ккал/кг°K;

G — расход воздуха, кг/час.

Воздухопроводную сеть по температурному режиму можно разделить на два участка. На первом участке сжатый воздух охлаждается до температуры окружающей среды, на втором — происходит изотермическое течение воздуха.

Интерес представляет первый участок трубопровода. Для конкретных условий его длину можно определить по формуле (1).

$$l = \frac{c_p}{\kappa_{\text{мп}}} G \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}. \quad (2)$$

Работоспособность и весовой расход сжатого воздуха потребителем изменяется пропорционально температуре [3]

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (3)$$

где G_1, G_2 — расход сжатого воздуха при T_1 и T_2 , кг/час;

L_1, L_2 — работоспособность воздуха соответственно при T_1 и T_2 , кгм/кг.

Таким образом, для совершения одной и той же работы горячего воздуха требуется меньше на величину

$$\Delta G = G \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right). \quad (4)$$

Для сохранения температуры сжатого воздуха может применяться теплоизоляция воздухопровода. Потери тепла в трубопроводе, выраженные через параметры воздуха,

$$\Delta Q = c_p G (T_1 - T_2). \quad (5)$$

Те же потери тепла, выраженные через параметры трубопровода,

$$\Delta Q = \kappa'_{\text{тр}} \cdot l' \Delta T_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где $\kappa'_{\text{тр}}$ — коэффициент теплопередачи от компрессорного воздуха в окружающую среду через трубопровод с изоляционным покрытием;

l' — длина изолированного трубопровода, м;

$\Delta T_{\text{ср}}$ — средняя логарифмическая разность температур между компрессорным воздухом и окружающей средой.

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_0}}. \quad (7)$$

Из уравнений (5), (6), (7), имеем

$$c_p G (T_1 - T_2) = \kappa'_{\text{тр}} l' \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_0}}. \quad (8)$$

Отсюда

$$l' = \frac{c_p G \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}}{\kappa'_{\text{тр}}}. \quad (9)$$

Из формул (2) и (9) видно, что при прочих равных величинах длина первого участка трубопровода зависит от коэффициентов теплопередачи

$$l' = l \frac{\kappa_{\text{тр}}}{\kappa'_{\text{тр}}}. \quad (10)$$

Коэффициенты теплопередачи $\kappa_{\text{тр}}$ и $\kappa'_{\text{тр}}$ определяются по известным формулам [4, стр. 106].

Затраты на изоляцию воздухопровода

$$\begin{aligned} S_{\text{из}} &= \frac{100 + \psi + \varphi}{100} \cdot \pi (d_2 + \delta_{\text{из}}) \cdot \delta_{\text{из}} a_m l' + \pi (d_2 + 2\delta_{\text{из}}) a_n l' = \\ &= \pi l' [a_m \delta_{\text{из}}^2 (a_m d_2 + 2a_n) + a_n d_2], \end{aligned} \quad (11)$$

где ψ — стоимость наложения изоляции, %; (11)

φ — стоимость ремонта изоляции за срок службы, %;

$\delta_{\text{из}}$ — толщина изоляции, м;

a_m — стоимость изоляционного материала, руб/м³;

a_n — стоимость покровного слоя, руб/м³;

Годовое снижение эксплуатационных расходов при использовании горячего воздуха

$$\Delta \mathcal{E} = V n_{\text{год}} a_{\text{в}} f \left[\left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_0 R_0}{T_2 R_2}} \right) \right], \quad (12)$$

где V — производительность компрессора м³/час;

$n_{\text{год}}$ — число часов компрессорной установки в год;
 $a_{\text{в}}$ — стоимость 1 м³ сжатого воздуха, руб/м³;
 R_0, R_2 — газовые постоянные при температуре T_0 и T_2 ;
 f — коэффициент, учитывающий утечки в воздухопроводной сети.

Срок окупаемости изоляции трубопровода

$$C_{\text{из}} = \frac{S_{\text{из}}}{\Delta \Theta} = \frac{100 + \psi + \varphi}{100} \cdot \frac{\pi c_p \gamma V [a_m \delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}} (a_m d_2 + 2a_n) a_n \cdot d_2]}{\kappa_{\text{тр}} \cdot V \cdot n_{\text{год}} \cdot a} \times \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} \times \frac{f \left[\left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_0 \cdot R_0}{T_2 \cdot R_2}} \right) \right]}{f \left[\left(\frac{T_2}{T_0} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_2 \cdot R_2}{T_0 \cdot R_0}} \right) \right]} \quad (13)$$

Обозначив через

$$A = \frac{100 + \psi + \varphi}{100} \cdot \frac{\pi c_p \gamma [a_m \delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}} (a_m d_2 + 2a_n) a_n d_2]}{\kappa_{\text{тр}} \cdot n_{\text{год}} \cdot a}, \quad (14)$$

получим

$$C_{\text{из}} = \frac{A \cdot \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}}{f \left[\left(\frac{T_2}{T_0} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_2 \cdot R_2}{T_0 \cdot R_0}} \right) \right]}. \quad (15)$$

В формуле (14) наивыгоднейшая толщина $\delta_{\text{из}}$ определяется по методу окупаемости последних слоев изоляции [5, стр. 123].

Пример. Рассчитать целесообразность изоляции шахтной воздухопроводной сети (рис. 1). При расчете принять следующие данные:

число часов работы компрессорной установки в год $n_{\text{год}} = 7000$ час;

температура на выходе из компрессора $T_1 = 413^\circ \text{K}$;

температура шахтной среды $T_0 = 298^\circ \text{K}$;

стоимость 1 м³ изоляционного слоя из оштукатуренных минераловатных скорлуп — 53,34 руб;

коэффициент теплопроводности изоляционного слоя,

$$\lambda = 0,052 + 0,00016 t_{\text{ср}}, \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{г} \cdot \text{град}}$$

стоимость окраски изоляции — 0,28 руб/м²;

утечки сжатого воздуха из пневматической сети — 20 %;

нормативный срок службы изоляции — 8 лет.

Стоимость наложения и ремонта теплоизоляции принимаем соответственно 15 и 10 % от затрат на изоляцию воздухопровода.

Расчеты показывают (табл. 1), что для шахтных условий при большой протяженности и разветвленности пневматической сети, наличии

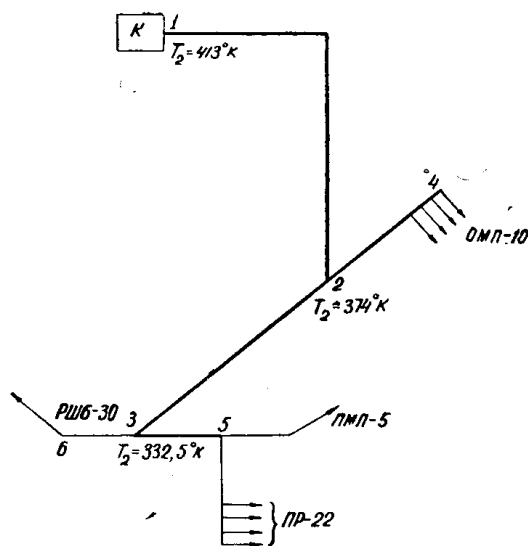


Рис. 1. Расчетная схема воздухопроводной сети

Таблица 1

Расчет эффективности тепловой изоляции воздухопровода (к примеру 1)

Участок сети	Расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$	Длина воздухопровода, м		Диаметр трубопровода, м		Толщина изоляции, м		Коэффициент A	Экономически выгодная		Заключение о целесообразности наложения изоляции
		действительная	расчетная	расчетный	принятый	расчетная	принятая		температура воздуха не ниже $^{\circ}\text{K}$	длина воздухопровода, не свыше, м	
1—2	51,4	500	575	0,160	0,194	0,0697	0,07	0,395	394	2020	целесообразно
2—3	46,2	1000	1150	0,151	0,194	0,0697	0,07	0,395	325	—	целесообразно
2—4	5,2	500	575	0,07	0,089	0,049	0,05	0,542	325	246	целесообразно
3—5	16,2	100	115	0,125	0,159	—	—	—	325	25	целесообразно
3—6	30	0	0	—	0,194	0,0697	0,07	0,395	325	—	целесообразно

большого количества передвижных пневмомеханизмов небольшой мощности (перфораторы, отбойные молотки и др.), изоляция воздухопроводов сжатого воздуха оказывается в большинстве случаев нецелесообразной. Теплоизоляция шахтных воздухопроводов может быть целесообразной при питании сжатым воздухом пневмомеханизмов большой мощности, подсоединенных к пневматической сети вблизи от компрессорной установки.

В заводских условиях при сравнительно небольшой длине пневматической сети и стационарном оборудовании, изоляция воздухопроводов является экономически выгодной. Целесообразность изоляции воздухопроводов сжатого воздуха для конкретных условий предлагается определять по методике, изложенной в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Гордеев, В. Ф. Котов, А. И. Сербиков, Я. К. Прошин. О взрывах в воздушных поршневых компрессорах и магистралях, Промышленная энергетика, № 12, 1964.
 2. М. А. Матвеев. Падение температуры сжатого воздуха в рудничных воздухопроводах. Горный журнал, № 4, 1951.
 3. В. И. Шишкин. Снижение расхода сжатого воздуха потребителями, Промышленная энергетика, № 4, 1964.
 4. А. С. Ильичев. Рудничные пневматические установки, т. 1, Углетехиздат, 1953.
 5. С. В. Хижняков. Практические расчеты тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов. Изд-во Энергия, М.-Л., 1964.
-