

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА TSM CERAMIC

Г.Е.Константинов, Н.В.Колесниченко, Д.С.Руденко
Донецкий национальный технический университет

Проведено експериментальне визначення теплофізичних властивостей теплоізоляційного матеріалу TSM CERAMIC, що у теперешній час усе ширше пропонується на ринку деякими виробниками і дилерами. Розрахований за результатами вимірів коефіцієнт теплопровідності не відповідає заявленому виробником.

Замеры характеристик теплообмена проводились 7.02.2006 г. в условиях действующего энергоблока Славянской ТЭЦ. Обследован участок конденсатопровода диаметром 630 мм, имеющий асбоцементную теплоизоляцию, находящуюся в удовлетворительном состоянии. Температура конденсата в трубопроводе (по показаниям штатной термопары) 160 °С, температура поверхности теплоизоляции 40 – 45 °С.

На участке трубопровода длиной около 2 м теплоизоляция снята, и на предварительно подготовленную поверхность трубы нанесена теплоизоляция TSM Ceramic, причем имеются два участка с толщиной изоляции соответственно 1,2 мм (нанесение в два слоя) и 4 мм (нанесение в 6 слоев).

Замеры проводились с использованием инфракрасного бесконтактного цифрового термометра INFRATRACE KM 1000, измеряющего тепловые потоки от поверхностей и их температуры в диапазоне 0 – 800 °С с разрешением 1 °С, погрешностью не более 0,7 %.

Измерения термометром INFRATRACE KM 1000 дали следующие результаты.

1. Трубопровод без тепловой изоляции:

- плотность теплового потока на поверхности $q = 1880 \text{ Вт/м}^2$;
- температура поверхности $t = 160 \text{ }^\circ\text{С}$.

2. Трубопровод, покрытый теплоизоляцией TSM Ceramic в 2 слоя:

- плотность теплового потока на поверхности $q = 1450 - 1700 \text{ Вт/м}^2$;

- температура поверхности $t = 133 - 137$ °С.
- 3. Трубопровод, покрытый теплоизоляцией TSM Ceramic в 6 слоев:
 - плотность теплового потока на поверхности $q = 1150 - 1250$ Вт/м²;
 - температура поверхности $t = 102 - 105$ °С.

Температура теплоносителя в трубе 165°С.

Определим коэффициент теплопроводности изоляционного материала на участке с покрытием в 6 слоев.

Исходные данные:

$t_1 = 165$ °С – температура поверхности изоляции со стороны трубы;

$t_2 = 103$ °С – средняя температура поверхности изоляции со стороны воздуха;

$t_b = 20$ °С – температура воздуха;

$\delta = 4$ мм – толщина изоляционного слоя.

Тепловой поток, проходящий через изоляцию, и отнесенный к наружной поверхности изоляционного слоя, равен тепловому потоку, который отдается от наружной поверхности к воздуху за счет конвекции и излучения.

$$q = q_{\text{конв}} + q_{\text{изл}}$$

Плотность конвективного теплового потока равна:

$$q_{\text{конв}} = \alpha \cdot (t_2 - t_b)$$

Определим коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху за счет конвективного переноса тепла α . Условие теплоотдачи – свободная конвекция на вертикальной цилиндрической поверхности. Характерный размер – высота цилиндрической стенки.

Определим значение критерия Грассгоффа:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_2 - t_b) \cdot l^3}{\nu^2}$$

где β – коэффициент объемного расширения жидкости, 1/К. Для воздуха его можно определить по формуле:

$$\beta_f = \frac{1}{T} = \frac{1}{273 + t} = \frac{1}{273 + 20} = 3,41 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$$

$g = 9,81$ м²/с – ускорение свободного падения

$l = 1$ м – характерный размер;

ν - кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с. При $t_f=20^\circ\text{C}$, $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 3,41 \cdot 10^{-3} \cdot (103 - 20) \cdot 1^3}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 1,23 \cdot 10^{10}$$

Значение критерия Прандтля воздуха при $t=20^\circ\text{C}$: $Pr_{ж} = 0,703$

Значение произведения $Gr \cdot Pr = 1,23 \cdot 10^{10} \cdot 0,703 = 0,86 \cdot 10^{10}$

Критериальное уравнение для определения числа Нуссельта при свободной конвекции имеет вид:

$$Nu = 0,75 \cdot (Gr \cdot Pr_f)^{0,25}$$

Таким образом:

$$Nu = 0,75 \cdot (0,86 \cdot 10^{10})^{0,25} = 228$$

Коэффициент теплоотдачи определим из выражения:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \Rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха при средней температуре воздуха в пограничном слое, Вт/(м·К).

При $\bar{t} = \frac{t_2 + t_с}{2} = \frac{103 + 20}{2} = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\lambda = 2,8 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К).

$$\alpha = \frac{228 \cdot 2,8 \cdot 10^{-2}}{1} = 6,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$q_{\text{конв}} = 6,5 \cdot (103 - 20) = 536 \text{ Вт}$$

Плотность результирующего теплового потока излучаемого поверхностью трубы:

$$q_{\text{изл}} = \varepsilon \cdot c_0 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_с}{100} \right)^4 \right] = 0,95 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{(103 + 273)}{100} \right)^4 - \left(\frac{(20 + 273)}{100} \right)^4 \right] = 680 \text{ Вт}$$

Суммарный тепловой поток:

$$q = 536 + 680 = 1216 \text{ Вт}$$

Коэффициент теплопроводности изоляционного слоя определим по формуле:

$$\lambda_{из} = \frac{\delta \cdot q}{t_1 - t_2} = \frac{0,004 \cdot 1216}{165 - 103} = 0,079 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Определим коэффициент теплопроводности изоляционного материала на участке с покрытием в 2 слоя.

Исходные данные:

$t_1 = 165 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура поверхности изоляции со стороны трубы;

$t_2 = 135 \text{ }^\circ\text{C}$ – средняя температура поверхности изоляции со стороны воздуха;

$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура воздуха;

$\delta = 1,2 \text{ мм}$ – толщина изоляционного слоя.

Плотность конвективного теплового потока равна:

$$q_{конв} = \alpha \cdot (t_2 - t_b)$$

Критерий Грасгоффа:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 3,41 \cdot 10^{-3} \cdot (135 - 20) \cdot 1^3}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 1,7 \cdot 10^{10}$$

Значение произведения $Gr \cdot Pr = 1,7 \cdot 10^{10} \cdot 0,703 = 1,2 \cdot 10^{10}$

Критерий Нуссельта:

$$Nu = 0,75 \cdot (1,2 \cdot 10^{10})^{0,25} = 248$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха при средней температуре воздуха в пограничном слое, Вт/(м·К).

При $\bar{t} = \frac{t_2 + t_b}{2} = \frac{135 + 20}{2} = 78 \text{ }^\circ\text{C}$ $\lambda = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

$$\alpha = \frac{248 \cdot 2,9 \cdot 10^{-2}}{1} = 7,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$q_{\text{конв}} = 7,2 \cdot (135 - 20) = 828 \text{ Вт}$$

Плотность результирующего теплового потока излучаемого поверхностью трубы:

$$q_{\text{изл}} = \varepsilon \cdot c_0 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_6}{100} \right)^4 \right] = 0,95 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{(135 + 273)}{100} \right)^4 - \left(\frac{(20 + 273)}{100} \right)^4 \right] = 1096 \text{ Вт}$$

Суммарный тепловой поток:

$$q = 828 + 1096 = 1924 \text{ Вт}$$

Коэффициент теплопроводности изоляционного слоя:

$$\lambda_{\text{из}} = \frac{\delta \cdot q}{t_1 - t_2} = \frac{0,0012 \cdot 1924}{165 - 135} = 0,077 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Таким образом, с учетом погрешностей, связанных с методиками измерений и расчетов, а также с неравномерностью нанесения покрытия, можно утверждать, что значение коэффициента теплопроводности исследуемого теплоизоляционного материала TSM Ceramic находится в пределах 0,05 – 0,08 Вт / (м·К), что не соответствует значению, заявленному производителем.

20 квітня 2008 р.