

УДК 621.644.07

К. А. Щербинин, В. А. Мунц, Е. Ю. Павлюк

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

v.a.munts@urfu.ru

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Экспериментально определены коэффициенты теплопроводности сухой и влажной изоляции трубопроводов тепловых сетей. Рассмотрена задача сушки влажной тепловой изоляции, проведено сопоставление с экспериментом.

Ключевые слова: *тепловая изоляция, трубопроводы, коэффициент теплопроводности, сушка*

K. A. Shcherbinin, V. A. Munts, E. Yu. Pavlyuk

Ural Federal University, Ekaterinburg

HEAT TRANSMISSION CAPACITY IN THERMAL ISOLATION OF HEAT PIPE SYSTEMS

Heat transmission capacity coefficients for dry and moist isolation layers were experimentally obtained. The mathematical model was proposed to describe drying processes. Comparison has shown a good agreement between experimental data and calculation results.

Key words: *heat isolation; pipe system; heat transmission capacity coefficient; drying process*

Для определения теплопроводности теплоизоляционных материалов, предназначенных для трубопроводов систем теплоснабжения, разработана схема и сконструирован экспериментальный стенд. Конструкция позволяет смоделировать реальные условия трубопроводов систем теплоснабжения. В состав экспериментального стенда входят: сменная горизонтально расположенная стальная бесшовная труба (испытываемая труба) с теплоизоляционным материалом, термоэлектрические

преобразователи, шкаф системы управления с измерительно-вычислительным комплексом на элементной базе Siemens типа Simatic S7-1200, электрические ТЭНы.

Нормируемая величина удельных тепловых потерь с поверхности изолированного трубопровода достигается только в том случае, когда поры материала наполнены воздухом (рис. 1). В реальных эксплуатационных условиях, возможно проникновение грунтовых вод к поверхности изолирующего слоя или внутренние повреждения системы трубопроводов.

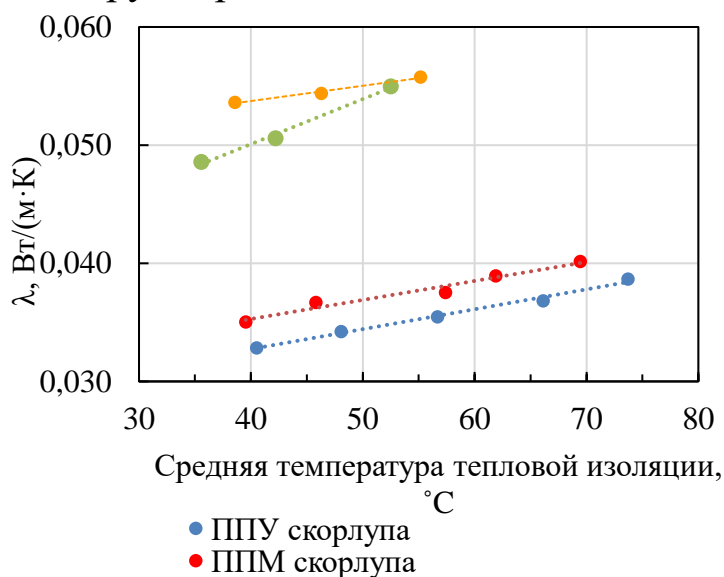


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от средней температуры тепловой изоляции

В том случае, когда происходит увлажнение слоя, характеристики теплоизолирующего материала ухудшаются из-за смены среды-наполнителя пространства пор. Следовательно, при этом изменяется коэффициент теплопроводности тепловой изоляции (рис. 2), отсюда неизбежный рост удельной величины тепловых потерь. В том случае, когда происходит увлажнение слоя, характеристики теплоизолирующего материала ухудшаются из-за смены среды-наполнителя пространства пор. Следовательно, при этом изменяется коэффициент теплопроводности тепловой изоляции (рис. 2), отсюда неизбежный рост удельной величины тепловых потерь.

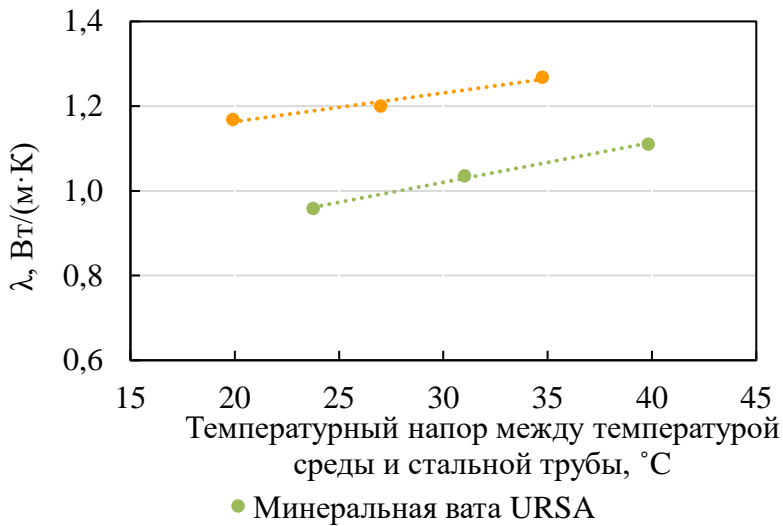


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от температурного напора между температурой среды и стальной трубы

Для анализа процесса сушки теплоизоляционного слоя на трубопроводах было проведено моделирование изменения глубины просохшего материала, обусловленного движением границы фронта испарения влаги, от времени. В данной работе решается квазистационарная задача теплопроводности для слоя изоляции. В задаче рассматривалось, что в первоначальный момент времени, после осушения канала, тепловая изоляция находится в состоянии полного намокания, а окончание процесса сушки наступает при достижении фронта испарения наружной поверхности изоляции.

Для рассмотрения распределения температур по толщине слоя тепловой изоляции, используем уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах [1]:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dt}{dr} \right) = 0 \tag{1}$$

В зоне высохшей тепловой изоляции, при $r_0 < r < \varphi$ значение коэффициента теплопроводности равно λ теплопроводности сухой изоляции, в зоне влажной изоляции при $\varphi < r < R$ коэффициент теплопроводности существенно выше и равен λ_m . Уравнение запишем для двух зон: сухой изоляции с температурой t_1 и влажной изоляции с температурой t_2 .

Граничные условия: при $r = r_0$ температура равна температуре стенки трубы t_c , которая поддерживается постоянной. На границе сухого и мокрого слоев при $r = \zeta$ температуры равны $t_1 = t_2$. На

поверхности изоляции при $r = R$ граничные условия третьего рода $-\lambda_m \cdot \frac{dt_2}{dr}_{r=R} = \alpha \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{н}})$, где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающей среде, Вт/(м²К); $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{н}}$ – температура поверхности изоляции и наружного воздуха, °С. На поверхности изоляции, при $r = R$, температура t_2 равна температуре поверхности изоляции $t_{\text{п}}$.

В результате получим решение в виде трансцендентного уравнения для определения движения границы фазового перехода с течением времени

$$\int_{\xi_0}^{\xi} \frac{[1+(1+A)\psi] \ln(\xi/x_0) \cdot \xi \cdot d\xi}{[(1 - \text{Bi} \cdot \ln \xi) + \lambda^* \cdot \text{Bi} \cdot \ln(\xi/x_0)] - [1+(1+A)\psi]} = - \int_0^{Fo} dFo. \quad (2)$$

Экспериментальная динамика изменения величины удельных тепловых потерь в процессе сушки, представленная на рис. 3, практически совпадает с теоретической зависимостью, базирующейся на решении дифференциального уравнения (2). Это свидетельствует о верном подходе к решению задачи по определению динамики изменения параметров при осушении и принципе расчета, подтверждающем достоверность экспериментальных измерений.

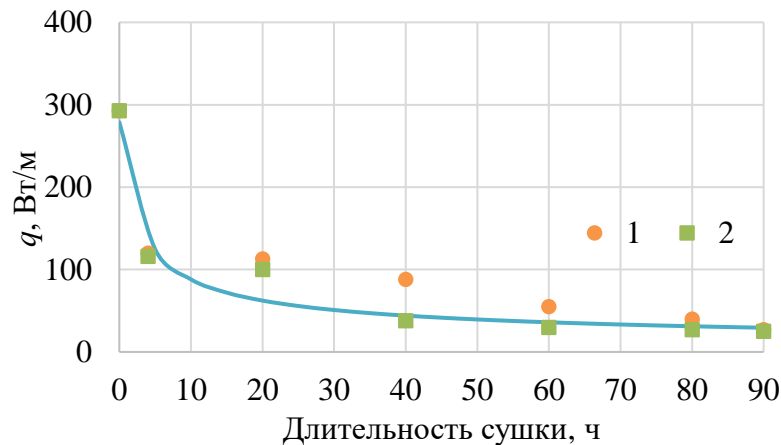


Рис. 3. Изменение линейного теплового потока, проходящего через изоляционный слой: 1 – экспериментальные данные при относительной влажности в канале $\varphi = 100\%$; 2 – экспериментальные данные при относительной влажности в канале $\varphi = 40\%$; линия – расчет по (2)

Список использованных источников

1. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М. : Госэнергоиздат, 1956. 464 с.