

УДК 621.186

Ю.С. ВЫТЧИКОВ

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой гидравлики и теплотехники Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Л.Д. ЕВСЕЕВ

доктор технических наук, Советник РААСН, генеральный директор группы компаний «Ритм», председатель комиссии по энергосбережению РОИС (Самарское отделение)

А.А. ЧУЛКОВ

соискатель кафедры гидравлики и теплотехники Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СКОРЛУП ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

EFFICIENCY AND DURABILITY UPGRADING OF HEATING PIPES THERMAL ISOLATION WITH POLYURETHANE FOAM COVERINGS

Приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования тепловой изоляции трубопроводов с применением скорлуп из пенополиуретана.

Ключевые слова: *тепловая изоляция, температура, удельный тепловой поток, пенополиуретан, керамическое покрытие, алюминиевая фольга.*

Снижение тепловых потерь трубопроводами систем теплоснабжения является одним из ведущих направлений энергосбережения в строительстве. Потери тепла в теплотрассах составляют в настоящее время от 15 до 20 % [1].

Теплоизоляционные изделия (скорлупы, отводы) из пенополиуретана нашли широкое применение во всех регионах страны. Теплоизоляция скорлупами повышает технический уровень прокладки теплотрасс.

Благодаря малому удельному весу скорлупы легко монтируются. Скорлупы плотно соединяются друг с другом с помощью пазов, расположенных на торцевых и продольных участках полуцилиндров. Они легко поддаются механической обработке. При демонтаже теплоизоляции скорлупы могут быть повторно использованы по своему назначению. Жесткий пенополиуретан не гниет, так как имеет низкое водопоглощение.

Для защиты от воздействия ультрафиолетового облучения скорлупы покрывают стеклотканью, стеклоизолом или фольгой.

The results of theoretical and practical research of pipes thermal isolation with polyurethane foam coverings are viewed.

Keywords: *thermal isolation, temperature, heat flux rate, polyurethane foam, ceramic coating, aluminium foil.*

Пенополиуретаны относятся к наиболее эффективным теплоизоляционным материалам. Для различных марок пенополиуретана коэффициент теплопроводности колеблется в пределах от 0,014 до $0,035 \frac{Вт}{м^{\circ}С}$ [2].

Предельная температура эксплуатации для различных марок пенополиуретана находится в пределах от 80 до 150 °С, поэтому возникает необходимость его защиты от перегрева. Традиционным способом является размещение между наружной поверхностью трубопровода и внутренней поверхностью скорлупы термостойкой базальтовой минваты [3].

К недостаткам базальтовой минваты следует отнести значительное водопоглощение.

Для повышения долговечности скорлуп из пенополиуретана предлагается использовать экранную изоляцию в виде алюминиевой фольги или теплоизоляционного керамического покрытия.

На рис. 1 представлена схематизация процесса теплообмена в изолированном трубопроводе.

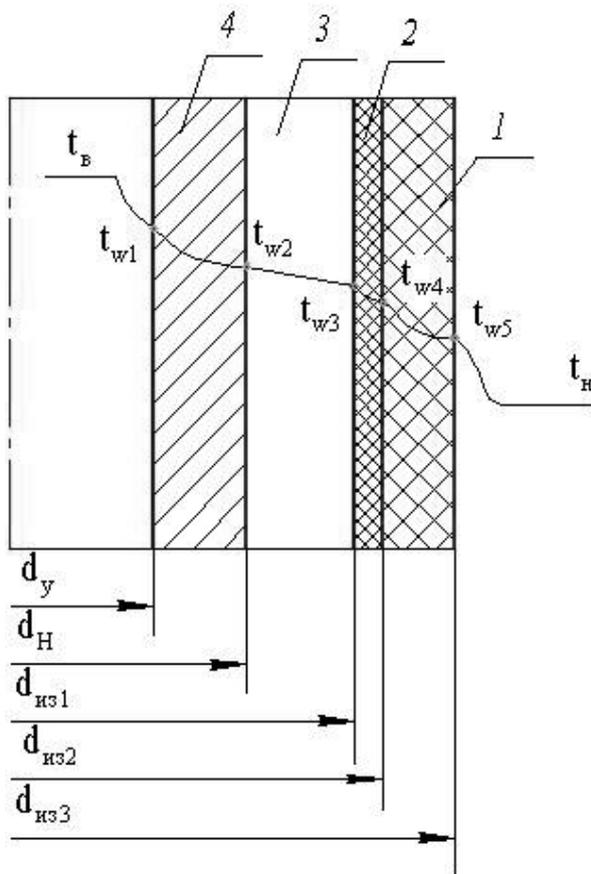


Рис. 1. Систематизация процесса теплообмена в изолированном трубопроводе:

Здесь 1 - пенополиуретан ($\lambda_{из2} = 0,03 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$); 2 - экранная теплоизоляция ($\lambda_{из1} = 0,026 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$ - корунд);

3 - воздушная прослойка; 4 - трубопровод системы теплоснабжения ($\lambda = 50 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$).

Для оценки эффективности применения экранной тепловой изоляции определим величину удельного теплового потока q_l , Вт/м, а также распределение температур в изолированном трубопроводе.

Расчет выполним для трубопровода системы отопления жилого дома, расположенного в автоматизированном тепловом узле, фотография которого представлена на рис. 2.

Ниже приведены исходные данные для расчета:

внутренний диаметр трубопровода $d_y = 0,08$ м;

наружный диаметр трубопровода $d_H = 0,089$ м;

внутренний диаметр скорлупы из пенополиуретана $d_{из2} = 0,115$ м;

наружный диаметр скорлупы из пенополиуретана $d_{из3} = 0,175$ м;

внутренний диаметр теплоизоляционного слоя из корунда $d_{из1} = 0,113$ м;

температура теплоносителя $t_g = 60$ °С;

температура воздуха в помещении $t_H = 20$ °С.



Рис. 2. Автоматизированный тепловой узел жилого дома

Запишем уравнение теплопередачи для изолированного трубопровода [4]:

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_b - t_n)}{R_1} \cdot \frac{Bm}{M}, \quad (1)$$

где R_1 – сопротивление теплопередаче изолированного трубопровода, $\frac{M^{\circ}C}{Bm}$;

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_1 d_y} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_n}{d_y} + \frac{1}{2\lambda_{\text{он}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{из1}}}{d_n} + \frac{1}{2\lambda_{\text{из1}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{из2}}}{d_{\text{из1}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{из2}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{из3}}}{d_{\text{из2}}} + \frac{1}{\alpha_n d_{\text{из3}}}$$

здесь α_1 – коэффициент теплоотдачи со стороны внутренней поверхности трубопровода, $\frac{Bm}{M^{\circ}C}$;

$\lambda_{\text{в.п}}$ – коэффициент теплопроводности воздушной прослойки, $\frac{Bm}{M^{\circ}C}$;

α_n – коэффициент теплоотдачи со стороны наружного воздуха, $\frac{Bm}{M^{\circ}C}$.

В целях упрощения решения задачи примем величины термических сопротивлений $\frac{1}{\alpha_1 d_y}$, $\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_n}{d_y}$ равными нулю ввиду их малости.

Передача тепла через воздушную прослойку осуществляется путем теплопроводности, конвекции и излучения, что учитывается при определении коэффициента теплопроводности воздушной прослойки [5].

$$\lambda_{\text{в.п}} = \lambda_m \cdot \varepsilon_k + \lambda_{\text{из}}, \quad \frac{Bm}{M^{\circ}C}, \quad (2)$$

где λ_m – молекулярный коэффициент теплопроводности воздуха, $\frac{Bm}{M^{\circ}C}$;

ε_k – поправочный коэффициент, учитывающий влияние естественной конвекции; $\varepsilon_k \geq 1$;

$\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности излучением, $\frac{Bm}{M^{\circ}C}$,

$$\lambda_{\text{из}} = \alpha_n \cdot \frac{d_n}{2} \cdot \ln \frac{d_{\text{из1}}}{d_n}, \quad \frac{Bm}{M^{\circ}C}, \quad (3)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи излучением, $\frac{Bm}{M^{\circ}C}$.

Коэффициент теплоотдачи излучением равен

$$\alpha_n = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{t_{w_2}}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{w_3}}{100} \right)^4 \right]}{t_{w_2} - t_{w_3}}, \quad \frac{Bm}{M^{\circ}C}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты для системы тел, расположенных в замкнутом пространстве, имеющих степени черноты ε_1 и ε_2 ,

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}; \quad (5)$$

$c_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2\text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

t_{w_2} , t_{w_3} – температура наружной поверхности трубопровода и внешней поверхности экранной изоляции соответственно, К;

F_1 , F_2 – поверхности теплообмена тел, расположенных в замкнутом пространстве.

Для вычисления поправочного коэффициента ε_k , учитывающего влияние конвекции, рекомендуется использовать критериальное уравнение, полученное М.А. Михеевым [5]:

$$\varepsilon_k = 0,18(Gr \cdot Pr)^{0,25}; \quad (6)$$

$$Gr \cdot Pr \geq 10^3;$$

$$\varepsilon_k = 1 \text{ при } Gr \cdot Pr \leq 10^3.$$

В приведенном выше уравнении за определяющую температуру принимается средняя температура воздуха, за определяющий размер – величина воздушного зазора δ .

$$Gr = \frac{g \cdot \delta^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t \text{ - критерий Грасгофа,} \quad (7)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$\beta = \frac{1}{t_m + 273} \text{ - коэффициент объемного расширения воздуха, } \text{К}^{-1};$$

$t_m = 0,5 \cdot (t_{w_2} + t_{w_3})$ – средняя температура воздуха в воздушном зазоре, $^{\circ}\text{C}$;

Таблица 1

Результаты исследования теплового состояния изолированного трубопровода системы отопления жилого здания

Виды тепловой изоляции трубопровода	Удельный тепловой поток q_l , Вт/м		Температура внутренней поверхности скорлупы t_{w_4} , °С		Перепад температур между теплоносителем и внутренней поверхностью скорлупы Δt , °С	
	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент
Воздушный зазор + керамическое покрытие + пенополиуретан	12,6	12,74	50,2	49,0	9,8	11,0
Воздушный зазор + алюминиевая фольга + пенополиуретан	11,45	11,0	44,4	44,0	15,6	16,0
Воздушный зазор + пенополиуретан	14,05	13,74	53,7	53,0	6,3	7,0

$\Delta t = t_{w_2} - t_{w_3}$ - разность температур между наружной поверхностью трубопровода и экранной изоляцией, °С;

Pr - критерий Прандтля.

Температура внутренней поверхности скорлупы из пенополиуретана определяется по формуле

$$t_{w_4} = t_e - \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{2\lambda_{e,n}} \cdot \ln \frac{d_{из1}}{d_n} + \frac{1}{2\lambda_{из1}} \cdot \ln \frac{d_{из2}}{d_{из1}} \right), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (8)$$

По изложенной выше методике был осуществлен расчет изолированного трубопровода с экранной тепловой изоляцией, выполненной из алюминиевой фольги и керамического теплоизоляционного покрытия, а также для трубопровода с воздушным зазором без экранной изоляции.

Результаты расчета представлены в табл. 1.

Для подтверждения полученных результатов расчета был выполнен физический эксперимент по определению теплового состояния изолированного трубопровода, представленного на рис. 2.

Температура воздуха в помещении и относительная влажность воздуха определялись с помощью измерителя температуры CENTER 313, температура внутренней и наружной поверхностей скорлупы из пенополиуретана – с помощью измерителя температуры CENTER 301 и термопар.

Тепловой поток на наружной поверхности измеряется с помощью измерителя плотности теплового потока ИПП-2.

Из представленных в табл. 1 результатов расчетов и экспериментального исследования видно, что создание воздушного зазора между наружной поверхностью трубопровода и скорлупой из пенополиуретана, защищенной со стороны внутренней поверхности экранной тепловой изоляцией, существенно снижает ее температуру и теплотери трубопровода. При этом наибольший эффект до-

стигается при использовании алюминиевой фольги в качестве экранной тепловой изоляции.

Результаты эксперимента незначительно отличаются от расчетных величин удельного теплового потока и температуры внутренней поверхности скорлупы из пенополиуретана, что свидетельствует о достаточной точности предложенной методики расчета экранной изоляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евсеев, Л.Д. Грозная социальная катастрофа в ЖКХ, и как ее предотвратить [Текст] / Л.Д. Евсеев // Информационный бюллетень. Строй-инфо. – Самара, 2002. – №5. – С. 14-18.
2. Вытчиков, Ю.С. Применение пенополиуретана в строительных ограждающих конструкциях энергоэффективных зданий: монография [Текст] / Ю.С. Вытчиков, Л.Д. Евсеев, А.Ю. Вытчиков, И.Г. Беляков; СГАСУ. – Самара, 2000. - 136 с.
3. Хижняков, С.В. Практические расчеты тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов [Текст] / С.В. Хижняков // Энергия. – М.; 1964. – 146 с.
4. Гурьев, В.В. Тепловая изоляция в промышленности. Теория и расчет [Текст] / В.В. Гурьев, В.С. Жолудов, В.Г. Петров-Денисов. – М.: Стройиздат, 2003. – 416 с.
5. Ковалевский, В.И. Методы теплового расчета экранной изоляции [Текст] / В.И. Ковалевский, Г.П. Бойков // Энергия. – 1964. – №4. – С.146.

© **Вытчиков Ю.С., Евсеев Л.Д., Чулков А.А., 2013**