

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ. СЛОИСТАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

М.М. Муранова, А.И. Щёлоков

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: Maria_muranova@list.ru

В статье рассматривается современное состояние системы теплоснабжения. Приведены примеры наиболее распространенных газов, которые можно использовать для заполнения пористой структуры в слоистом теплоизоляционном материале. Приведен пример расчета слоистого теплоизоляционного материала и его сравнение с аналогами.

Ключевые слова: теплопроводность, газонаполненная структура, теплоизоляция, теплоноситель.

Состояние теплоснабжающей системы Российской Федерации на сегодняшний день, можно утверждать, далеко от идеального. Существующие теплоснабжающие системы проектировались и создавались без учета возможностей, появившихся в последние 10-15 лет. Тепловые сети не соответствуют современным требованиям долговечности и надежности как по теплофизическим параметрам, так и по качеству строительных и теплоизоляционных конструкций и материалов теплопроводов, а значит, не обеспечивают нормативные значения тепловых потерь.

Целью имеющейся энергетической стратегии на период до 2030 г. является достижение научного и технологического лидерства России по ряду важнейших направлений, обеспечивающих ее конкурентные преимущества и национальную, в том числе энергетическую, безопасность [1].

Стратегическими задачами развития теплоснабжения являются:

- 1) повышение технического уровня систем теплоснабжения на основе инновационных, высокотехнических технологий и оборудования;
- 2) сокращение потерь тепловой энергии при транспорте тепла, достигающих 35 % от общего теплопотребления.

Пути решения поставленных задач:

- 1) приближение источников производства тепловой энергии к потребителю;
- 2) совершенствование тепловой изоляции теплопроводов.

В настоящее время получили широкое распространение предизолированные трубы для постройки тепловых сетей [2]. Предизолированные теплопроводы изготавливаются в заводских условиях, где в качестве теплоизоляционного материала используется вспененный пенополиуретан. По требованиям, предъявляемым к тепловой изоляции [3], в состав конструкции тепловой изоляции для поверхностей с положительной температурой в качестве обязательных элементов должны входить:

- теплоизоляционный слой;
- покровный слой;
- элементы крепления.

Материалы теплоизоляции и покровного слоя теплопроводов должны отвечать

*Мария Михайловна Муранова, аспирант.
Анатолий Иванович Щёлоков (д.т.н., проф.), зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики.*

требованиям СНиП 41-03, норм пожарной безопасности и выбираются в зависимости от конкретных условий и способов прокладки.

Известно, что газы естественного или искусственного происхождения имеют низкие значения теплопроводности. Рассмотрим некоторые газы, которые наиболее доступны и распространены. Такими являются воздух, азот, диоксид углерода, продукты сгорания природного газа, гексан. Из табл. 1 видно, что коэффициент теплопроводности у диоксида углерода $\lambda_{t=20^{\circ}\text{C}}^{\text{CO}_2} = 0,0162 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$, что в почти 1,5 раза ниже, чем теплопроводность воздуха и азота при той же температуре ($\lambda_{t=20^{\circ}\text{C}}^{\text{воздух}} = 0,026 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$ и $\lambda_{t=20^{\circ}\text{C}}^{\text{N}_2} = 0,0253 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$).

Таблица 1

Зависимость коэффициента теплопроводности газов от изменения их температуры

Газы $\lambda \cdot 10^3$, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$	Воздух	Азот	Диоксид углерода	Продукты сгорания природного газа	Гексан
Температура, $^{\circ}\text{C}$					
-50	19,7	20,16	10,9	–	147
-40	20,5	20,94	11,6	–	143
-30	21,3	21,72	12,2	–	141
-20	22,2	22,5	13,0	–	137
-10	23,8	23,35	13,7	–	134
0	24,36	24,24	14,6	22,7	129
20	26,04	25,3	16,2	24,4	121
40	27,88	26,7	17,7	26,1	117
60	29,32	28,1	19,2	27,8	110
80	30,96	29,5	20,7	29,5	104
100	32,016	31,44	22,7	31,2	97
120	33,98	32,16	23,8	32,9	92,3
140	35,36	33,42	25,4	34,7	87
160	36,74	34,7	27,0	34,4	82,2
180	38,12	35,9	28,6	38,8	77,7
200	39,28	37,39	30,8	40	–

Слоистая теплоизоляция представляет собой систему замкнутых герметичных пор, которые заполнены диоксидом углерода. Процесс приготовления материала представляет собой заполнение полимерного рукава (в данном случае это полиэтилен высокой плотности ПЭВП) диоксидом углерода, после чего рукав заваривается с образованием полусфер. После получения газонаполненной пленки ее можно применять как готовый материал для теплоизоляции трубопроводов. В зависимости от диаметра трубопровода и от температуры теплоносителя на трубопровод наносится нужное количество слоев теплоизоляции (рис. 1).

Благодаря герметичности каждой полусферы вся система пор устойчива к повреждению. Слоистая теплоизоляция имеет закрытую ячеистую структуру, что обеспечивает высокую степень сопротивления к проникновению влаги (рис. 2).

Для обоснования выбора тепловой изоляции определим тепловые потери 1 м трубопровода с разными видами теплоизоляционных материалов.

Диаметр трубопровода $d_{mp} / d_e = 273 / 259$ мм, проложен на открытом воздухе со средней температурой окружающего воздуха $t_o = 10^{\circ}\text{C}$ и со средней скоростью

движения теплоносителя $\omega = 5 \text{ м/с}$. По трубопроводу передается насыщенный пар с температурой $\tau = 150^\circ\text{C}$.

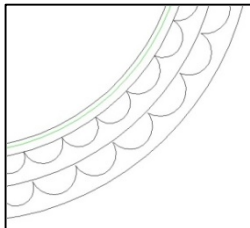


Рис. 1. Схема нанесения слоистой теплоизоляции на трубу

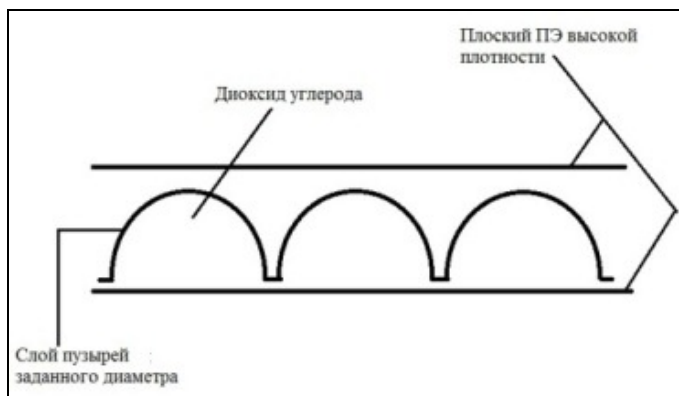


Рис. 2. Схематичное изображение слоистой теплоизоляции

Слоистая тепловая изоляция состоит из 2 слоев и включает в себя три составляющих. Общая толщина теплоизоляционных слоев $\delta_{сти} = 21,2 \text{ мм}$:

- битум: $\delta_{бит} = 2 \text{ мм}$ и $\lambda_{бит} = 0,47 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;
- полиэтилен: $\delta_{пэ} = 0,8 \text{ мм}$ и $\lambda_{пэ} = 0,28 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;
- углекислота: $\delta_{co_2} = 8 \text{ мм}$ и $\lambda_{co_2} = 0,014 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Коэффициент теплопроводности стенки стальной трубы и толщина $\lambda_{ст} = 58,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\delta_{ст} = 7 \text{ мм}$. Наружный диаметр трубы вместе с изоляцией

$$d_n = d_{тр} + \delta_{бит} \cdot 2 + \delta_{пэ} \cdot 8 + \delta_{co_2} \cdot 4; \quad (1)$$

$$d_n = 273 + 4 + 6,4 + 32 = 315,4 \text{ мм}.$$

Полное термическое сопротивление изолированного трубопровода рассчитывается по формуле

$$R = R_u + R_n; \quad (2)$$

$$R_u = R_{бит} + R_{пэ} + R_{co_2} + R_{23пэ} + R_{co_2} + R_{4пэ}, \quad (3)$$

где $R_{бит}, R_{пэ}, R_{co_2}$ – тепловое сопротивление изоляции, в том числе ее составляющих: битум, полиэтилен высокого давления, углекислый газ;

R_n – тепловое сопротивление на поверхности изоляции.

$$R_{бит} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{бит}} \cdot \ln \frac{d_n}{d}; \quad (4)$$

$$R_{бит} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,47} \cdot \ln \frac{277}{273} = 0,0492 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$R_{пэ} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{пэ}} \cdot \ln \frac{d_n}{d}; \quad (5)$$

$$R_{пэ} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,28} \cdot \ln \frac{278,6}{277} = 0,0327 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$R_{co_2} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{co_2}} \cdot \ln \frac{d_n}{d}; \quad (6)$$

$$R_{co_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,014} \cdot \ln \frac{294,6}{278,6} = 0,6351 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К};$$

$$R_{23n_3} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{n_3}} \cdot \ln \frac{d_n}{d}; \quad (7)$$

$$R_{23n_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,28} \cdot \ln \frac{297,8}{294,6} = 0,1228 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К};$$

$$R_{co_2} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{n_3}} \cdot \ln \frac{d_n}{d}; \quad (8)$$

$$R_{co_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,014} \cdot \ln \frac{313,8}{297,8} = 0,5982 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К};$$

$$R_{4n_3} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{n_3}} \cdot \ln \frac{d_n}{d}; \quad (9)$$

$$R_{4n_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,28} \cdot \ln \frac{315,4}{313,8} = 0,0289 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}.$$

Для расчета примем коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху $\alpha_n = 20 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}$ [3]:

$$R_{\sigma_{um}} = \frac{1}{\pi \cdot \alpha_n \cdot d_n}; \quad (10)$$

$$R_{\sigma_{um}} = \frac{1}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,3154} = 0,0504 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}.$$

В этом случае полное термическое сопротивление будет равно

$$R = 1,4639 + 0,0504 = 1,5143 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}.$$

Удельные тепловые потери через рулонную слоистую теплоизоляцию:

$$q = \frac{\tau - t_0}{R}; \quad (11)$$

$$q = \frac{140}{1,5143} = 92,45 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}.$$

Сделаем расчет для наиболее распространенных теплоизоляционных материалов аналогичной толщины, что и СТИ, например, для пенополиуретановой изоляции (ППУ) и изоляции на основе минеральной ваты. Так, для ППУ-изоляции толщиной $\delta_{ппу} = 20 \text{мм}$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\sigma_{um}} = 0,028 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}$ удельные тепловые потери составят $q_{ппу} = 169,02 \text{Bm} / \text{м}$, а для минеральной ваты с $\delta_{мв} = 20 \text{мм}$ и $\lambda_{\sigma_{um}} = 0,04 \text{Bm} / \text{м} \cdot \text{К}$ тепловые потери соответственно равны $q_{мв} = 235,24 \text{Bm} / \text{м}$.

По нормам [3] плотность теплового потока через поверхность изоляции оборудования и трубопроводов с положительными температурами должна соответствовать $91 \text{Bm} / \text{м}$ при заданном диаметре трубопровода и заданной температуре теплоносителя. Подберем нужную толщину пенополиуретановой минераловатной изоля-

ции. Полученные значения занесем в табл. 2. В таблице приведено по два значения теплопроводности каждого материала, так как имеющиеся в литературе данные говорят о существенной разнице значений коэффициента теплопроводности одних и тех же материалов.

Таблица 2

Удельные тепловые потери материалов в зависимости от их толщины и коэффициента теплопроводности

δ , мм	Пенополиуретановая изоляция		δ , мм	Изоляция на основе минеральной ваты	
	$\lambda_{\text{ппу}} = 0,028$ Вт / м · К	$\lambda_{\text{ппу}} = 0,032$ Вт / м · К		$\lambda_{\text{ппу}} = 0,04$ Вт / м · К	$\lambda_{\text{ппу}} = 0,045$ Вт / м · К
20	169,02	191,5	20	235,24	261,87
25	139,22	158,01	25	194,79	217,29
30	118,88	135,1	30	166,94	186,47
35	104,13	118,42	35	146,59	163,91
40	92,92	105,7	40	131,2	146,67
45	84,12	95,78	45	118,84	133,07
50	77,02	87,74	50	108,94	122,02
			55	100,77	112,95
			60	93,61	104,91

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности дальнейшего исследования, внедрения и использования слоистой теплоизоляции. Понятно, что заменить полностью все трубопроводы на надежные и современные технологичные конструкции в ближайшее время нереально, но стремиться к этому следует, а также необходимо строить новые магистральные трубопроводы и реконструировать старые.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергетическая стратегия России до 2030 г. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р.
2. Вагин Г.Я. Экономия энергоресурсов в промышленных установках: справ.-метод. пособие / Г.Я. Вагин, Л.В. Дудникова, Е.А. Зенютин. – НГТУ, НИЦЭ. – Н. Новгород, 2001. – 296 с.
3. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

Статья поступила в редакцию 19 января 2011 г.

USE OF MODERN THERMAL ISOLATION FOR PIPELINES. LAYERED LAGGING

M.M. Muranova, A.I. Shchelokov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100

The current state of heat supply system is considered in the paper. The examples of the most common gases which can be used for filling the porous structure in the layered lagging are given. The calculation of the layered lagging and its comparison with the analogs is represented.

Keywords: *thermal conductivity, gas-filled structure, lagging, heat transfer agent.*

*Mariya M. Muranova, Postgraduate student.
Anatoly I. Shchelokov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*