

Методика технико-экономического обоснования применения гибридной теплоизоляции в системах теплоснабжения

The Application of Hybrid Heat Insulation in Heat Supply Systems: Methods of Technical and Economic Substantiation

УДК 658.26:006.053



Захаров Вячеслав Павлович

начальник управления — заместитель
руководителя Службы государственного
строительного надзора и экспертизы
Санкт-Петербурга
191023, Санкт-Петербург, ул. Зодчего
Росси, д. 1–3

Vyacheslav P. Zakharov

State Construction Supervision
and Examination
Zodchego Rossi Str. 1–3, St. Petersburg,
Russian Federation, 191023

Системы теплоснабжения являются обязательным атрибутом в энергетике больших и малых городов России. Аварийность этих систем во многом зависит от материала трубопроводов, качества их монтажа, а также от характеристик тепловой изоляции, препятствующей потере тепловой энергии и коррозии металла. Разрушение трубопроводов систем теплоснабжения влечет дополнительные затраты на их восстановление, представляет угрозу для безопасности людей вблизи места аварии и приводит к дискомфорту в квартирах домов, использующих тепловую энергию.

Цель. Оценить возможность использования многослойной тепловой изоляции для систем теплоснабжения

Результаты. В работе проанализирована возможность использования многослойной (так называемой гибридной) тепловой изоляции, в которой каждый слой выполняет определенную функцию: защиту металла от коррозии, теплозащиту, препятствие для проникновения влаги.

Для массового применения такой изоляции требуется оценить экономические показатели различных видов тепловой изоляции: минераловатной, пенополиуретановой и гибридной, причем толщина защитного слоя в каждом случае не является произвольной. Она диктуется нормативными требованиями в зависимости от теплозащитных свойств самой изоляции.

Отмечается ограниченность области применения минераловатной и пенополиуретановой изоляции. Первая является недолговечной и теряющей теплозащитные свойства при увлажнении. Вторая не может применяться на трубопроводах с температурой 150 °С — температурой, которая задается при проектировании систем теплоснабжения. В связи с этим применение гибридной тепловой изоляции является предпочтительным как по тепловой эффективности, так и по экономическим показателям (стоимости материала и монтажа, срокам окупаемости).

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловая изоляция, теплозащитные свойства, технико-экономическая оценка

Heat supply systems are a crucial element of the utility system in Russian cities and towns. High system breakdown rates are largely a function of pipeline material, quality of installation, and the parameters of heat

insulation that prevent heat loss and metal corrosion. Breakdown of heat supply pipelines imposes additional repair costs, jeopardizes the safety of people around the accident site, and causes discomfort in buildings that use thermal energy.

Aim. This study evaluates the possibility of using multilayer heat insulation in heat supply systems.

Results. This study analyzes the possibility of using multilayer (hybrid) heat insulation in which each layer performs a specific function: prevents metal corrosion, dampness penetration, or provides heat protection. Mass implementation of such insulation requires an economic indicator-based assessment of different types of heat insulation (mineral wool, polyurethane foam, hybrid) with a specific thickness of the protective layer in each case determined by regulatory requirements depending on type-specific thermal properties.

It should be noted that mineral wool and polyurethane foam insulation have a limited area of application. The former is non-durable and loses its thermal properties when wet. The latter cannot be used in pipelines where the temperature exceeds 150 °C, i.e., temperature that is set when the heating system is designed. Therefore, the use of hybrid heat insulation is advantageous in terms of both thermal efficiency and economic indicators (the cost of the material and installation, payback periods).

Keywords: heat supply, heat insulation, thermal properties, technical and economic assessment

Вопросы энергоэффективности и энергосбережения в современных условиях выходят на первый план среди мероприятий по повышению эффективности социально-экономического развития, что обусловлено долгосрочным трендом роста стоимости природных ресурсов, истощаемостью большинства из них и экологическими ограничениями. При этом помимо концептуального решения проблем в рассматриваемой области (макроуровень проблемы) требуется также реализация конкретных технико-экономических мероприятий (микроуровень проблемы). В частности, в нашей статье предметом рассмотрения является технико-экономическое обоснование повышения энергоэффективности систем теплоснабжения, которое достигается применением новых материалов и методов гибридной теплоизоляции.

Для определения экономической эффективности любого вида тепловой изоляции, применяемой на трубопроводах систем теплоснабжения, необходимо учесть ее толщину и стоимостные характеристики (как стоимость самой изоляции, так и стоимость ее монтажа). В первую очередь необходимо оценить стоимости материалов, далее стоимость монтажа конструкций и, в конечном итоге, эксплуатационные затраты при использовании в качестве тепловой изоляции как традиционных, так и перспективных видов теплозащитных материалов.

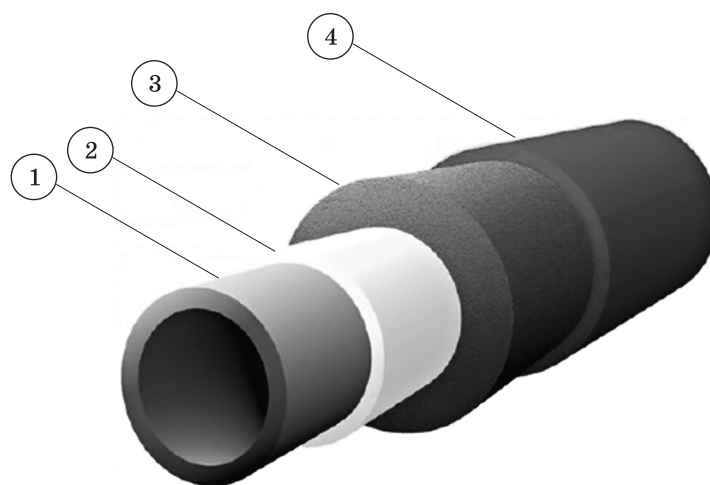


Рис. 1. Схема многослойной гибридной теплоизоляции

1 — труба; 2 — слой антикоррозийной грунтовки; 3 — слой супертонкого базальтового полотна; 4 — слой тонкопленочного теплозащитного покрытия с гидрофобизатором

Таблица 1

Характеристики некоторых видов тепловой изоляции

Показатели	Единица измерения	ППУ	Минеральная вата
Теплопроводность	Вт/(м · °С)	0,033	0,049–0,053*
Кажущаяся плотность	кг/м ³	60–80	55–150
Прочность при сжатии	МПа	0,3	Не нормируется, сопротивление нагрузкам минимальное
Водопоглощение, не более	%	10	Не нормируется, сопротивление увлажнению минимальное, постоянная влажность, закладываемая в расчет, — 4%
Эксплуатационные расходы (удельная повреждаемость)	Повреждение год/100 км	3–4	30–40

* При 0% влажности материала.

Источник: [1].

В качестве традиционных утеплителей нами рассматриваются минеральная вата, пенополиуретановая (ППУ) изоляция, а в качестве перспективной теплоизолирующей системы — гибридная теплоизоляция, схематично представленная на рис. 1.

Суть гибридной теплоизоляции состоит в ее многофункциональном эффекте. Антикоррозийная грунтовка позволяет защитить металл трубопровода от ржавчины при проникании влаги под слой теплоизоляции. Базальтовое полотно толщиной от 6 до 10 мм обладает высокими теплозащитными свойствами, но требует дополнительной поверхностной защиты, так как при увлажнении резко их теряет. Для исключения этого негативного фактора на базальтовое полотно накладывается слой тонкопленочного теплозащитного покрытия (ТПП), состоящего из акрилового связующего с микросферами (керамическими или силиконовыми), толщиной 1,5–3 мм. В целях усиления гидрофобного эффекта на поверхность ТПП наносится гидрофобизатор толщиной 1–2 мм, представляющий собой водную эмульсию с химическим реагентами.

Характеристики традиционных теплоизоляционных материалов представлены в табл. 1.

Теплозащитные свойства гибридной теплоизоляции зависят от толщины каждого материала в слое изоляции и могут быть получены при проектировании теплозащиты или в ходе экспериментальных испытаний.

Эффективность различных вариантов тепловой защиты целесообразно рассмотреть на примере трубопровода диаметром 159 мм с температурой теплоносителя 150 °С и температурой воздуха в тепловой

камере 30 °С. Тогда плотность теплового потока может быть рассчитана как

$$q = \frac{\pi(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}})}{\frac{1}{2\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{т}}} + \frac{1}{d_{\text{из}} \cdot \alpha_{\text{н}}}} = \frac{3,14 \cdot (150 - 30)}{\frac{1}{2\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{из}}}{159} + \frac{1}{d_{\text{из}} \cdot 7}},$$

где $\lambda_{\text{из}}$ — теплопроводность каждого вида изоляции; $d_{\text{из}}$ — внешний диаметр тепловой изоляции, зависящий от толщины слоя δ ; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи от поверхностного слоя изоляции окружающему воздуху, который в соответствии с нормативными требованиями [2] принимается равным 7 Вт/м² · °С для минераловатной изоляции и 10 Вт/м² · °С для пенополиуретана.

Полученные значения плотности теплового потока при использовании минераловатной изоляции сведены в табл. 2.

Аналогичные расчеты выполнены для пенополиуретановой (ППУ) изоляции ($\lambda_{\text{из}} = 0,033$ Вт/(м · °С), $\alpha_{\text{н}} = 10$ Вт/(м² · °С)) и представлены в табл. 3.

Для гибридной теплозащиты выбирается вариант: слой антикоррозийной грунтовки — 2 мм, слой супертонкого базальтового полотна варьируемой толщины δ и теплопроводностью $\lambda_{\text{б}} = 0,05$ Вт/(м · °С), слой ТПП теплопроводностью $\lambda_{\text{ТПП}} = 0,04$ Вт/(м · °С) толщиной 3 мм, слой гидрофобизатора теплопроводностью $\lambda_{\text{гф}} = 0,051$ Вт/(м · °С) и толщиной 2 мм. Результаты представлены в табл. 4 ($d_{\text{сум}}$ — суммарная величина диаметра изоляции с учетом слоя ТПП и слоя гидрофобизатора).

Таблица 2

Величины плотности теплового потока в зависимости от толщины минераловатной изоляции
($\lambda_{из} = 0,051 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$)

δ , мм	20	40	60	80	100	120	140	160
$d_{из}$, мм	199	239	279	319	359	399	439	479
q , Вт/м	159,1	104,8	81,1	67,7	59,0	50,1	48,4	42,4

Таблица 3

Величины плотности теплового потока в зависимости от толщины пенополиуретановой (ППУ) изоляции
($\lambda_{из} = 0,033 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$)

δ , мм	20	40	60	80	100	120
$d_{из}$, мм	179	219	259	299	339	379
q , Вт/м	159,1	104,8	81,1	67,7	59,0	50,1

Таблица 4

Величины плотности теплового потока в зависимости от толщины базальтового полотна
($\lambda_6 = 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$)

d , мм	15	25	30	35	40	45	50
$d_{из}$, мм	193	213	223	233	243	253	263
$d_{сум}$, мм	203	223	233	243	253	263	273
q , Вт/м	115,7	92,4	84,1	77,4	71,3	67,4	63,9

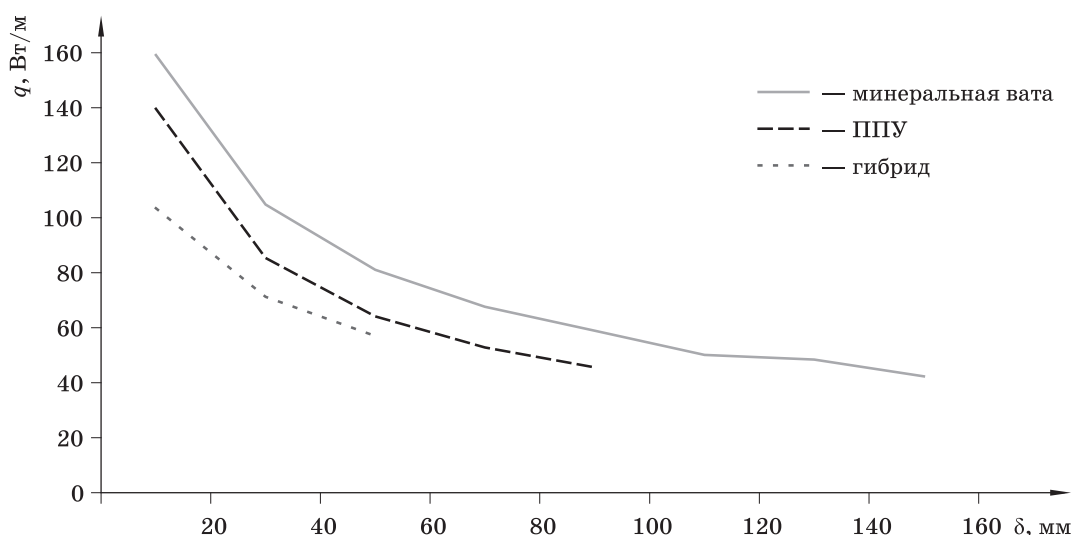


Рис. 2. Сравнительные характеристики теплозащитных свойств различных видов тепловой изоляции

Сравнительные теплозащитные свойства тепловой защиты из различных теплоизоляционных материалов представлены на рис. 2.

Нормируемое значение плотности теплового потока для трубопровода такого диаметра составляет 58 Вт/м, а из графика следует, что оно достигается с помощью гибридной изоляции при самых меньших диаметрах (в 1,25 раза меньше, чем у ППУ-изоляции, и в 1,7 раза меньше, чем у минеральной ваты). Заметим, что применение покрытия из фольги на поверхности базальтового полотна позволяет повысить отражательные свойства изоляции и снизить теплопотери еще на 27–35% [3].

При проведении технико-экономической оценки определяется стоимость материалов и монтажных работ (транспортные расходы могут не учитываться, так как могут быть примерно одинаковы). Также не учитываются дополнительные приспособления и конструкции (строительные леса и пр.) в соответствии с допущением, что дополнительная теплозащита осуществляется в период строительства или реконструкции зданий. Результаты сведены в табл. 5

(введен поправочный коэффициент по ФЕР к 2001 г., равный 10,23).

Полученные результаты легко могут быть трансформированы на 1 погонный метр труб другого диаметра, так как длина трубы (1 погонный м) трубопровода остается неизменной, а увеличение площади поверхности будет пропорционально увеличению диаметра.

Таким образом, теплоизоляция при использовании гибридной тепловой изоляции (базальтовое супер-тонкое полотно в комплекте с ТТП) является одним из самых дешевых и высокоэффективных средств тепловой изоляции.

Следует отметить, что самый дешевый материал по стоимости и монтажу — минеральная вата. Но она отрицательно зарекомендовала себя в процессе эксплуатации. Покрытие из пенополиуретана является дорогостоящим и применимым ограниченно (при температуре теплоносителя до 120 °C), при более высоких температурах требуется слой дополнительного утеплителя (базальтового или другого минераловатного полотна), снижающего температурные параметры до допустимых пределов.

Стоимость теплоизоляционных материалов и монтажных работ на 1 погонный м трубопровода

Минераловатная изоляция в обойме из оцинкованной стали	
Стоимость теплоизоляции	800
Стоимость дополнительных материалов (клей, стальной кожух)	200
Стоимость монтажных работ (очистка труб от ржавчины, монтаж изоляции и кожуха)	818
Итого	2145
Скорлупы ППУ-изоляции в оболочке из термоусаживаемой ленты	
Стоимость теплоизоляции	1150
Стоимость дополнительных материалов (клей, лента)	380
Стоимость монтажных работ (очистка труб от ржавчины, монтаж скорлуп, ПЭ-ленты)	1185
Итого	3042
Напыляемая ППУ-изоляция в оболочке из термоусаживаемой ленты	
Стоимость теплоизоляции (компоненты, оборудование)	1500
Стоимость дополнительных материалов (лента, инструмент), амортизация оборудования	250
Стоимость монтажных работ (очистка труб от ржавчины, монтаж скорлуп, ПЭ-ленты)	2141
Итого	4218
Гибридная изоляция	
Стоимость материалов	350
Стоимость монтажных работ (очистка труб от ржавчины, нанесение покрытий)	1200
Итого	2629
Гибридная изоляция с фольгированными цилиндрами из базальтовой ваты	
Стоимость материалов	850
Стоимость монтажных работ (очистка труб от ржавчины, монтаж цилиндров, нанесение покрытия)	1200
Итого	2778

Следует учитывать также такой момент, как долговечность гибридной теплоизоляции. Она достигается за счет того, что первый слой (грунтовка по металлу) препятствует коррозии металла, последующие слои обеспечивают надежную теплозащиту, а наружный слой — гидрофобизатор — способствует защите внутренних слоев от поглощения влаги при поступлении воды.

Итак, проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

- 1) самым экономичным (кроме минераловатной изоляции) способом утепления труб является использование гибридной тепловой изоляции. Утепление минераловатной изоляцией зарекомендовало себя с отрицательной стороны вследствие недостаточного термического сопротивления и потери теплозащитных качеств при намокании;
- 2) использование ППУ-изоляции является весьма условным с позиций эффективности, несмотря на предложения рекламодателей. По нормативам ППУ-изоляция используется при температуре теплоносителя не выше 120 °С. Однако заказчики требуют проектирования теплоизоляции на параметры 150 °С. В этом случае необходимо предусматривать прослойку из минераловатного (например, базальтового) полотна, что приводит к удорожанию конструкции на 25–30%;
- 3) использование гибридной изоляции снижает аварийность трубопроводов благодаря защите от коррозии как изнутри, так и снаружи. Натурные испытания гибридной изоляции на теплосетях в Санкт-Петербурге подтвердили эффективность ее использования;
- 4) применение гибридной изоляции также имеет свои недостатки: каждый очередной слой нанесения покрытия требует периода просушки предыдущего

слоя. В связи с этим необходимо проводить теплоизоляцию поэтапно, желательно на большом участке трубопроводов (так называемыми «захватками»).

Литература

1. Трубы и фитинги стальные в ППУ изоляции для тепловых сетей (ГОСТ 30732-2006): [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rtg-company.ru/udm/katalog-ceni/details/11/7/narugnie-sistemi-truboprovodov/teplotrassi/stalnie-v-ppu-izolyatsii>.
2. Свод правил СП 61.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов») / Утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2011 г. № 608, Приложение В 2.1: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dokipedia.ru/document/5154822>.
3. Логинова Н. А. Определение эффективности тонкопленочных теплоизоляционных покрытий применительно к системам теплоснабжения: Дисс. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ (ТУ), 2010. 133 с.

References

1. *Steel pipes and fittings in polyurethane foam insulation for thermal networks (GOST Standard 30732-2006)*. Available at: <http://www.rtg-company.ru/udm/katalog-ceni/details/11/7/narugnie-sistemi-truboprovodov/teplotrassi/stalnie-v-ppu-izolyatsii>. (in Russ.).
2. *Rules and Regulations SP 61. 13330.2012 (Actualized revision of SNIP 41-03-2003 "Thermal insulation of equipment and pipelines")*, approved by Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation of December 27, 2011 № 608, Appendix 2. 1. Available at: <http://dokipedia.ru/document/5154822>. (in Russ.).
3. Loginova N. A. *Determining the efficiency of thin-film thermal insulation coatings applied to heating systems*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 2010. 133 p. (in Russ.).