



Анализ толщины неэффективной изоляции труб

В настоящее время, в связи с неуклонно возрастающим энергопотреблением, как в нашей стране, так и за рубежом (в мировых масштабах), вопросы снижения затрат на потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) становятся всё более актуальными [1–6]. В соответствии с требованиями Федерального закона от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [7], в России масштабно проводятся обязательные энергетические обследования объектов.

Энергетическое обследование объектов (зданий и сооружений) представляет собой сбор и обработку информации о потреблении объектом энергоресурсов в целях получения достоверной информации об объёмах используемых энергоресурсов, о показателях энергоэффективности, выявления возможностей энергосбережения и повышения энергоэффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте.

Энергетическое обследование объектов направлено на решение следующих основных задач:

- оценка фактического состояния энергоиспользования объекта, выявление причин возникновения и определение значительной потери ТЭР;

- разработка плана мероприятий, направленных на снижение потерь топливно-энергетических ресурсов;
- определение требований к объекту по совершенствованию учёта и контроля расхода энергоносителей;
- технико-экономическое обоснование разработанных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности объекта.

Перечислим также цели разработки энергетических мероприятий:

- повышение эффективности использования ТЭР;
- надёжное функционирование и динамическое развитие, собственно, самих систем энергосбережения;
- снижение необоснованных расходов на содержание зданий при обеспечении комфортных параметров пребывания сотрудников;
- создание организационных, технических и экономических условий для совершенствования как систем отопления, так и систем горячего водоснабжения объекта, и обеспечения их необходимыми энергетическими ресурсами.

Большинству обследуемых объектов необходимы типовые мероприятия, направленные на снижение потерь ТЭР.

Как правило, для сбережения электроэнергии предлагается замена осветительных приборов на более современные,

Рецензия эксперта на статью получена 18.07.2022 [The expert review of the article received on July 18, 2022].

УДК 697. Научная специальность: 05.14.04.

Анализ толщины неэффективной изоляции труб

Д. М. Брагин, инженер НИС кафедры «Промышленная теплоэнергетика», Самарский государственный технический университет (СамГТУ)

В работе рассчитаны толщины неэффективной изоляции из популярных материалов для труб, внешний диаметр которых не превышает 75,5 мм. Данные трубы используются в энергообеспечении жилых домов малой этажности. Результаты проводимого исследования сведены в удобные для применения таблицы. В индивидуальном тепловом пункте возможны теплоизоляционные мероприятия, направленные на снижение теплопотерь от труб малого диаметра, что может привести к увеличению потребления топливно-энергетических ресурсов.

Ключевые слова: термическое сопротивление, трубы малого диаметра, неэффективная изоляция, теплопроводность, энергоэффективность.

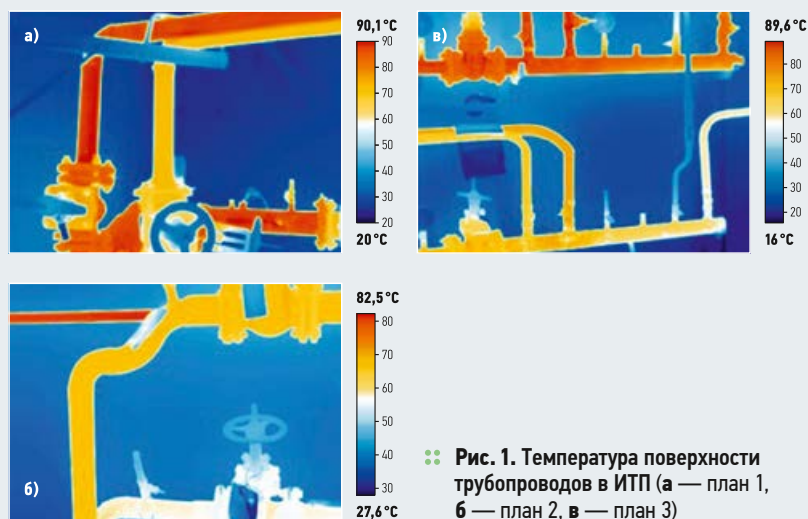
UDC 697. The number of scientific specialty: 05.14.04.

Analysis of thickness of non-effective insulation pipes

D. M. Bragin, Engineer for External Engineering Networks, the Department of Industrial Thermal Power Engineering, [Samara State Technical University \(SamSTU, Samara city\)](http://Samara State Technical University (SamSTU, Samara city))

The paper calculates the thickness of inefficient insulation from popular materials for pipes whose outer diameter does not exceed 75.5 mm. These pipes are used in the power supply of low-rise residential buildings. The results of the study are summarized in tables that are convenient for use. In an individual heating point, thermal insulation measures are possible aimed at reducing heat loss from small-diameter pipes, which can lead to an increase in the consumption of fuel and energy resources.

Key words: thermal resistance, small diameter pipes, inefficient insulation, thermal conductivity, energy efficiency.



Мероприятия по снижению теплопотерь на трубопроводах малых диаметров должны проводиться после расчёта критического диаметра изоляции и определения толщины неэффективной изоляции трубопровода. Под неэффективной изоляцией понимается такая толщина теплоизолирующего материала, при которой термическое сопротивление будет равно термическому сопротивлению неизолированной «голой» трубы.

Результаты расчёта неэффективной изоляции и критического диаметра представлены в табл. 1–3. Расчёт коэффициентов теплоотдачи был произведён по «Методике расчёта коэффициентов теплоотдачи», изложенной в [11].

для экономии холодной воды предлагают замену устаревших водоразборных устройств и т.п. При формировании рекомендаций по сокращению затрат тепловой энергии имеется ряд трудностей: эти мероприятия являются одними из самых дорогостоящих, а оплата тепловой энергии часто производится по завышенному нормативу, а не по фактически потреблённому количеству, и т.д.

Также проведение некоторых мероприятий без предварительного технико-экономического анализа может привести к увеличению потребления ТЭР.

Например, к таким мероприятиям могут относиться рекомендации по изоляции трубопроводов малого диаметра в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП). Это, в свою очередь, связано с высокими температурами на поверхности трубопроводов, что наглядно видно на рис. 1.

В условиях постоянного и иногда даже скачкообразного увеличения стоимости энергоносителей и тарифов на тепловую энергию неэффективное использование ТЭР недопустимо. Поэтому разработка и проведение мероприятий по повышению энергоэффективности становится одной из приоритетных задач каждого предприятия. Анализ энергопотребления и разработке мероприятий по повышению энергоэффективности посвящено множество научно-прикладных исследований [6, 8]. Также усилия специалистов направлены на улучшение теплоизоляционных свойств материалов [5, 9, 10] и разработку новых универсальных материалов [1, 5, 9, 10].

Однако, на данный момент, несмотря на значительные достижения науки в области создания ультрасовременных теплоизоляционных материалов, традиционные теплоизоляторы применяются в преобладающем количестве, что обусловлено их доступностью и низкой ценой.

Толщина неэффективной изоляции трубопровода для труб стальных [4]

табл. 1

Наружный диаметр, мм	Толщина неэффективной изоляции, мм			Критический диаметр, мм		
	ППС	Мин. вата	ППУ	ППС	Мин. вата	ППУ
10,2	5,6	9,8	2,9	10,4	13,7	6,9
13,5	5,2	8,3	2,9	11,1	14,7	7,4
17,0	5,1	7,8	2,9	11,8	15,6	7,8
21,3	5,0	7,5	2,9	12,5	16,5	8,2
26,8	5,0	7,3	3,0	13,2	17,5	7,3
33,5	5,1	7,3	3,0	14,0	18,5	9,2
42,3	5,15	7,3	3,2	14,8	19,6	9,8
48,0	5,2	7,3	3,2	15,3	20,2	10,1
60,0	5,3	7,4	3,4	16,2	21,4	16,8
75,5	5,5	7,6	3,5	17,1	22,6	11,3

Толщина неэффективной изоляции для труб напорных из термопластов

табл. 2

Наружный диаметр, мм	Толщина неэффективной изоляции, мм			Критический диаметр, мм		
	ППС	Мин. вата	ППУ	ППС	Мин. вата	ППУ
10	5,52	9,25	2,88	10,33	13,65	6,82
12	5,27	8,53	2,84	10,81	14,28	7,14
16	5,01	7,75	2,83	11,62	15,35	7,67
20	4,91	7,38	2,85	12,29	16,23	8,11
25	4,87	7,17	2,89	12,99	17,16	8,58
32	4,89	7,03	2,95	13,82	18,25	9,13
40	4,93	7,01	3,02	14,61	19,30	9,65
50	5,00	7,02	3,10	15,45	20,41	10,20
63	5,11	7,09	3,21	16,37	21,62	10,81
75	5,20	7,18	3,29	17,10	22,58	11,29

Толщина неэффективной изоляции для труб напорных из полиэтилена

табл. 3

Наружный диаметр, мм	Толщина неэффективной изоляции, мм			Критический диаметр, мм		
	ППС	Мин. вата	ППУ	ППС	Мин. вата	ППУ
10	5,56	9,30	2,89	10,33	13,65	6,82
12	5,30	8,56	2,86	10,81	14,28	7,14
16	5,05	7,81	2,85	11,62	15,35	7,67
20	4,96	7,45	2,87	12,29	16,23	8,11
25	4,93	7,24	2,92	12,99	17,16	8,58
32	4,94	7,13	2,98	13,82	18,25	9,13
40	5,00	7,10	3,06	14,61	19,30	9,65
50	5,09	7,13	3,16	15,45	20,41	10,20
63	5,21	7,23	3,27	16,37	21,62	10,81
75	5,32	7,33	3,36	17,10	22,58	11,29

Расчёт общего термического сопротивления R_i [$\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$]:

$$R_i = \frac{1}{d_{i1}\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_{\text{тр}} \ln\left(\frac{d_{i2}}{d_{i1}}\right)} + \frac{1}{2\lambda_{\text{из}} \ln\left(\frac{d_{i2}}{d_{i1}}\right)} + \frac{1}{d_{i2}\alpha_2}, \quad (1)$$

где d_{i1} — внутренний диаметр трубы, м; α_1 — коэффициент теплоотдачи при переносе теплоты от жидкости к внутренней стенке, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\lambda_{\text{тр}}$ — коэффициент теплопроводности материала трубы, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; d_{i2} — внешний диаметр трубы, м; α_2 — коэффициент теплоотдачи при переносе теплоты от внешней стенки трубы или изоляции (при её наличии) к воздуху в окружающей среде, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Толщина неэффективной изоляции определялась из уравнения теплопередачи для трубы длиной 1 м:

$$q_{\text{гол}} - q_{\text{из}} = \frac{F_{\text{гол}}}{R_{\text{гол}}} (t_{\text{жид}} - t_{\text{окр}}) - \frac{\pi(d_{i2} + 2\delta_{\text{из}})}{R_{\text{из}}} (t_{\text{жид}} - t_{\text{окр}}) = 0, \quad (2)$$

где $q_{\text{гол}}$ — тепловые потери с 1 м трубы при отсутствии теплоизоляционных материалов, $\text{Вт}/\text{м}$; $q_{\text{из}}$ — тепловые потери с 1 м трубы при наличии теплоизоляционных материалов на поверхности трубопровода, $\text{Вт}/\text{м}$; $t_{\text{жид}}$ — средняя температура теплоносителя (воды), $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды (воздуха), $^{\circ}\text{C}$; $F_{\text{гол}}$ — площадь поверхности трубы без изоляции, м^2 ; $R_{\text{гол}}$ — термическое сопротивление голой трубы, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; $R_{\text{из}}$ — термическое сопротивление трубы с теплоизоляционными материалами, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; $\delta_{\text{из}}$ — толщина теплоизоляционного материала, м. Для проводимого в рамках исследования расчёта использовались исходные данные, сведённые в табл. 4 и 5.



Основываясь на результатах расчёта неэффективной теплоизоляции для стальных труб, можно сделать ряд выводов:

- утепление труб, диаметр которых менее 10,2 мм, экономически нецелесообразно в большинстве случаев;
- явление неэффективной изоляции характерно для всех трубопроводов диаметром меньше 75,5 мм;
- при наружных диаметрах $\leq 10,2$ мм толщина неэффективной изоляции минеральной ватой может достигать 10 мм;

□ толщина неэффективной изоляции незначительно зависит от наружного диаметра трубопровода;

□ использование тепловой изоляции для труб свыше 75,5 мм целесообразно в большинстве случаев, а размеры изоляции невелики по отношению к внешнему диаметру.

Аналогично были рассчитаны толщины неэффективной изоляции для труб из других материалов, а именно для напорных труб из термопластов и полиэтилена.

... Теплопроводность материалов, используемых в исследовании

табл. 4

Материал	Стальные трубы [13]	Напорные трубы из термопластов для систем водоснабжения и отопления PP-H, PP-B, PP-R [14]	Напорные трубы из полиэтилена (SDR6, S2,5) [15]	Пенополиуретан	Мин. вата	Пенополистирол
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	74	0,24	0,4	0,035	0,07	0,053

... Исходные данные для расчёта термического сопротивления

табл. 5

Средняя скорость теплоносителя по сечению, м/с	Теплопроводность материала труб [12], $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Температура воды в трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$	Температура внешней стенки трубопровода без изоляции, $^{\circ}\text{C}$	Температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$
1	74	90	85	5



Исходные данные по размерам труб были взяты из [ГОСТ 32415-2013 \[14\]](#) и [ГОСТ 18599-2001 \[15\]](#), соответственно. Результаты расчётов представлены в табл. 2 и 3.

По результатам расчёта неэффективной теплоизоляции для напорных труб из термопластов и полиэтилена можно сделать ряд выводов:

- использование ППУ в большинстве случаев экономически целесообразно;
- толщина неэффективной изоляции ППУ слабо зависит от внешнего диаметра трубы;
- на рассматриваемых диаметрах трубопроводов толщина неэффективной изоляции, в зависимости от диаметра труб из термопластов, изменяется по разным функциям.



Зависимость толщины неэффективной изоляции из минеральной ваты и из пенополистирола является степенной функцией, а из пенополиуретана — линейной функцией:

$$\begin{aligned}d_{\text{ППС}} &= 7,304 d_i^{20,152}; \\d_{\text{мин.вата}} &= 14,765 d_i^{20,248}; \\d_{\text{ППУ}} &= 0,0048 d_i^2 + 2,7881.\end{aligned}$$

Выводы

По результатам проведённого исследования выявлено:

1. Неэффективная изоляция затрагивает не только трубопроводы с наименьшими диаметрами. Данное явление характерно для всех рассчитанных диаметров трубопроводов, всех материалов изоляции и материалов самих трубопроводов.

2. Необходимо проводить технико-экономический расчёт для каждого отдельного случая (особого внимания заслуживают трубопроводы диаметров до 75,5 мм и случаи применения теплоизоляции из устаревших материалов).

3. Температура внешнего слоя теплоизоляции для неэффективной теплоизоляции не превышает 35 °С при температуре воды внутри трубопровода 90 °С.



Утепление труб диаметром менее 10,2 мм экономически нецелесообразно в большинстве случаев. Явление неэффективной изоляции характерно для всех трубопроводов диаметром менее 75,5 мм

4. Наложение пенополиуретановой толщиной менее 3,0 мм практически невозможно, поэтому данный расчёт необходимо проводить прежде всего для устаревших трубопроводов, а также изоляций с относительно высокой теплопроводностью, таких как минеральная вата, древесные опилки и т.д. ●

1. Ibrahim Ja. E.F.M., Kurovics Em., Tihtih M., Gömze L.A. Ceramic bricks with enhanced thermal insulation produced from natural zeolite. Pollack Periodica. 2021. Vol. 16. Issue 3. Pp. 101–107.
2. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Emelin V.A., Loginova S.A. Digital technological model of heat exchange control in an air heat pump in a low-rise building. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2131. Issue 5. Pp. 052–080.
3. Mann D., Yeung C., Habets R., Vroon Z., Buskens P. Building energy simulations for different building types equipped with a high performance thermochromic smart window. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. March 24–25, 2021. Vol. 855. Issue 1.
4. Крикунов Р.В. Системы «умного дома» неразрывно связаны с энергосбережением и энергоэффективностью // Журнал СОК, 2021. №5. С. 29.
5. Zhou J., Hsieh Y.L. Nanocellulose aerogel-based porous coaxial fibers for thermal insulation. Nano Energy. November 2019. Vol. 68.
6. Esbati S., Amooie M.A., Sadeghzadeh M., Ahmadi M.H., Pourfayaz E., Ming T. Investigating the effect of using PCM in building materials for energy saving: Case study of Sharif Energy Research Institute. Energy Science & Engineering. 2020. Vol. 8. Issue 4. Pp. 959–972.
7. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Фед. закон РФ от 23.11.2009 №261-ФЗ.
8. Еськин А.А., Ткач Н.С., Дьяченко Д.Р. Анализ энергоэффективности и физического износа системы водяного отопления после десяти лет эксплуатации // Журнал СОК, 2021. №7. С. 38–43.
9. Su Lei, Wang H., Niu M., Dai Sh., Cai Zh., Yang B., Huiyan H., Pan X. Anisotropic and hierarchical SiC@SiO₂ nanowire aerogel with exceptional stiffness and stability for thermal superinsulation. Science Advances. 2020. Vol. 6. Issue 26. Pp. 66–89.
10. Hussein M.I., Tsai Ch.-N., Honarvar H. Thermal conductivity reduction in a nanophononic metamaterial versus a nanophononic crystal: A review and comparative analysis. Advanced Functional Materials. 2020. Vol. 30. No. 8.
11. Методика расчёта коэффициентов теплоотдачи: Информационно-образовательная система обучения студентов и повышения квалификации персонала [Электр. текст]. ТГТУ. Режим доступа: 170514.tstu.ru. Дата обрац.: 08.06.2022.
12. Теплопроводность труб из полипропилена, стали, ПВХ [Электр. текст]. ГК «Агпайп». Режим доступа: agpipe.ru. Дата обрац.: 09.06.2022.
13. ГОСТ 3262–75. Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия (с Изм. №1–6) / Дата введ.: 01.01.1977.
14. ГОСТ 32415–2013. Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия / Дата введ.: 01.01.2014.
15. ГОСТ 18599–2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия (с Изм. №1) / Дата введ.: 01.01.2003.

References — see page 78.

Analysis of thickness of non-effective insulation pipes. Pp. 56–59.

Dmitry M. Bragin, Engineer for External Engineering Networks, the Department of Industrial Thermal Power Engineering, [Samara State Technical University \(SamSTU\)](#)

1. Ja. E.F.M. Ibrahim, Em. Kurovics, M. Tihtih, L.A. Gönze. Ceramic bricks with enhanced thermal insulation produced from natural zeolite. Pollack Periodica. 2021. Vol. 16. Issue 3. Pp. 101–107.
2. S.V. Fedosov, V.N. Fedoseev, V.A. Emelin, S.A. Loginova. Digital technological model of heat exchange control in an air heat pump in a low-rise building. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2131. Issue 5. Pp. 052–080.
3. D. Mann, C. Yeung, R. Habets, Z. Vroon, P. Buskens. Building energy simulations for different building types equipped with a high performance thermochromic smart window. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. March 24–25, 2021. Vol. 855. Issue 1.
4. R.V. Krikunov. *Sistemy “umnogo doma” nerazryvno svyazany s jenergosberezheniem i jenergojeffektivnost’ju* [“Smart home” systems are inextricably linked with energy saving and energy efficiency.]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2021. No. 5. Pp. 29. [In Russian]
5. J. Zhou, Y.L. Hsieh. Nanocellulose aerogel-based porous coaxial fibers for thermal insulation. Nano Energy. November 2019. Vol. 68.
6. S. Esbati, M.A. Amooie, M. Sadeghzadeh, M.H. Ahmadi, F. Pourfayaz, T. Ming. Investigating the effect of using PCM in building materials for energy saving: Case study of Sharif Energy Research Institute. Energy Science & Engineering. 2020. Vol. 8. Issue 4. Pp. 959–972.
7. *Ob jenergosberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti, i o vnesenii izmenenij v otdeľnye zakonodatel’nye akty Rossijskoj Federacii* [On energy saving and on improving energy efficiency, and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation]. *Fed. zakon RF ot 23.11.2009 №261-FZ* [Federal Law of Russia No. 261-FL of November 23, 2009]. [In Russian]
8. A.A. Es’kin, N.S. Tkach, D.R. D’jachenko. *Analiz jenergojeffektivnosti i fizicheskogo iznosa sistemy vodjanogo otoplenija posle desjati let jekspluatacii* [Analysis of energy efficiency and physical deterioration of the water heating system after ten years of operation]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2021. No. 7. Pp. 38–43. [In Russian]
9. Lei Su, H. Wang, M. Niu, Sh. Dai, Zh. Cai, B. Yang, H. Huan, X. Pan. Anisotropic and hierarchical SiC@SiO₂ nanowire aerogel with exceptional stiffness and stability for thermal superinsulation. Science Advances. 2020. Vol. 6. Issue 26. Pp. 66–89.
10. M.I. Hussein, Ch.-N. Tsai, H. Honarvar. Thermal conductivity reduction in a nanophononic metamaterial versus a nanophononic crystal: A review and comparative analysis. Advanced Functional Materials. 2020. Vol. 30. No. 8.
11. *Metodika rascheta koeficientov teplootdachi: Informacionno-obrazovatel’naja sistema obuchenija studentov i povyshenija kvalifikacii personala* [Methodology for calculating heat transfer coefficients: Information and educational system for teaching students and improving the skills of staff]. *TGTU* [Tambov State Technical University]. Web-source: 170514.tstu.ru. Access date: June 8, 2022. [In Russian]
12. *Teploprovodnost’ trub iz polipropilena, stali, PVH* [Thermal conductivity of pipes made of polypropylene, steel, PVC]. *GK “AGPajp”* [“AGPipe” Group]. Web-source: agpipe.ru. Access date: June 9, 2022. [In Russian]
13. *GOST 3262–75* [State Industry Standard of Russia No. 3262–75]. *Truby stal’nye vodogazoprovodnye. Tehnicheskie uslovija (s Izm. №1–6)* [Pipes steel water and gas. Specifications (with Amend. No. 1–6)]. The impl. date: January 1, 1977. [In Russian]
14. *GOST 32415–2013* [State Industry Standard of Russia No. 32415–2013]. *Truby napornye iz termoplastov i soedinitel’nye detali k nim dlja sistem vodosnabzhenija i otoplenija. Obshhie tehnicheskie uslovija* [Thermoplastic pressure pipes and fittings for them for water supply and heating systems. General specifications]. The impl. date: January 1, 2014. [In Russian]
15. *GOST 18599–2001* [State Industry Standard of Russia No. 18599–2001]. *Truby napornye iz polijetilena. Tehnicheskie uslovija (s Izm. №1)* [Pipes pressure head from polyethylene. Specifications (with Amend. No. 1)]. The impl. date: January 1, 2003. [In Russian]