

УДК 697.343

Р. А. Горшков^а, И. А. Войлоков^б

^а *Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

^б *Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЛЬНЫХ И КОМПОЗИТНЫХ ТРУБ

В статье выполнен сравнительный анализ энергетической эффективности стальных и композитных (стекло- и базальтопластиковых) труб, предназначенных для использования в тепловых сетях. Рассмотрены основные преимущества и недостатки труб, выполненных из разных материалов. Выполнен расчет потерь тепловой энергии через поверхность стальных и композитных трубопроводов при одинаковом внутреннем диаметре и толщине стенки трубопроводов, но различной толщине слоя тепловой изоляции (20 и 40 мм). Показано, что вне зависимости от материала стенки трубопровода потери тепловой энергии через поверхность изоляции не превышают 2 %, при отсутствии изоляции — 12 %. Полученные результаты значительно расходятся с утверждением о том, что потери тепловой энергии через поверхность композитных трубопроводов на 50 % ниже, чем у их стальных аналогов. Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании тепловой изоляции оборудования, трубопроводов, газопроводов и воздухопроводов, расположенных в закрытых помещениях и на открытом воздухе.

Ключевые слова: тепловые сети, трубопроводы, тепловая изоляция, энергетическая эффективность.

Введение

Согласно требованиям п. 4.2 СП 61.13330¹, конструкции тепловой изоляции трубопроводов и оборудования должны отвечать в том числе требованиям энергетической эффективности, т. е. иметь оптимальное соотношение между стоимостью теплоизоляционной конструкции и стоимостью тепловых потерь через изоляцию в течение расчетного срока эксплуатации. В этой связи в настоящее время осуществляется активный поиск инженерно-технических решений, направленных на повышение надежности и эффективности функционирования систем централизованного теплоснабжения [1—12]. В ряде исследований в качестве одного из таких решений предлагается замена в системах централизованного теплоснабжения стальных труб на полимерные [13—15] или композитные [16—18].

Полимерные и композитные трубы, по сравнению со стальными, обладают рядом преимуществ. К таковым в первую очередь следует отнести их более высокую коррозионную стойкость и, как следствие, более низкую шероховатость их внутренней поверхности. Более гладкая внутренняя поверхность полимерных и композитных труб при эксплуатации теплопроводов способствует уменьшению затрат на электроэнергию по преодолению гидравлического сопротивления.

Стальные трубопроводы в системах централизованного теплоснабжения достаточно хорошо изучены. По данным проекта актуализированной редакции

¹ СП 61.13330.2012. Актуализир. ред. СНиП 41-03—2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М., 2012.

«Схемы теплоснабжения Санкт-Петербурга»², общая протяженность тепловых сетей Санкт-Петербурга по состоянию на 01.01.2022 составляла 4901,8 км в двухтрубном исчислении. И подавляющее их количество выполнено из стали. При этом срок службы 55,3 % тепловых сетей АО «Теплосеть Санкт-Петербурга» и 24,5 % тепловых сетей ГУП «ТЭК СПб» — двух основных теплосетевых компаний города — превышает 25 лет. Чем больше срок службы теплопроводов, тем выше риск их физического износа. Значительный износ стальных труб, особенно небольших диаметров (до 200 мм), которые составляют наибольшую долю в протяженности внутригородских тепловых сетей, является серьезной технической и экономической проблемой при их эксплуатации [19—30]. Поэтому поиск технических решений, направленных на повышение сроков службы тепловых сетей, также является актуальной задачей теплоснабжающего комплекса.

В настоящее время ГУП ТЭК тестирует несколько десятиметровых участков композитных труб диаметром 100 мм из стеклопластика и стеклопластика с базальтом, проложенных в подвале одного из домов на Новочеркасском проспекте Санкт-Петербурга. При этом в публикациях³ утверждается, что в связи с тем, что теплопроводность базальтовых труб в 150 раз меньше, чем стальных, потери тепла в такой сети окажутся вдвое (на 50 %) ниже. Целью настоящего исследования является проверка данного утверждения на предмет его соответствия физическим закономерностям.

Методы

С целью сравнительного анализа примем трубы диаметром 100 мм из двух материалов — стали и композита (стеклопластика, стеклобазальтопластика и т. д.) и рассчитаем для них общее сопротивление теплопередаче.

Общее сопротивление теплопередаче рассчитаем по формуле⁴

$$R_{\text{общ}}^L = R_{\text{вн}}^L + R_{\text{ст(комп)}}^L + R_{\text{из}}^L + R_{\text{н}}^L, \quad (1)$$

где $R_{\text{вн}}^L = \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^{\text{тр}} \cdot \alpha_{\text{вн}}}$ — линейное термическое сопротивление теплоотдаче

внутренней поверхности стенки трубы;

$$R_{\text{ст(комп)}}^L = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{ст(комп)}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}^{\text{тр}}} — \text{линейное термическое сопротивление}$$

теплопередаче цилиндрической стенки стальной (композитной) трубы;

² Проект актуализированной схемы теплоснабжения Санкт-Петербурга на 2023 год. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/shemy-razvitiya-inzhenerno-energeticheskogo-kompleksa/shema-teplosnabzheniya/aktualizaciya-shemy-teplosnabzheniya-sankt-peterburga-na-2023-god/proekt-shemy-na-2023>.

³ ТЭК тестирует инновационные трубы из стеклопластика со сроком службы 50 лет. URL: <https://www.gptek.spb.ru/press/news/tek-testiruet-innovatsionnye-truby-iz-stekloplastika-so-srokom-sluzhby-50-let/?ysclid=14whgv1ltw626024997>.

ГУП «ТЭК СПб» приступило к тестированию труб из стеклопластика, которые в перспективе могут заменить изношенные стальные. URL: https://www.dp.ru/a/2021/10/25/Prochnee_i_deshevle?ysclid=14who1hp5m878682997.

⁴ СП 61.13330.2012. Актуализир. ред. СНиП 41-03—2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М., 2012.

$$R_{из}^L = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{из}} \ln \frac{d_{н}^{из}}{d_{вн}^{из}} \quad \text{— линейное термическое сопротивление}$$

теплопередаче цилиндрического теплоизоляционного слоя (при наличии);

$$R_{н}^L = \frac{1}{\pi \cdot d_{н}^{тр(из)} \cdot \alpha_{н}} \quad \text{— линейное термическое сопротивление теплоотдаче}$$

от наружной поверхности трубы (для изолированной трубы — слоя теплоизоляции) к окружающему воздуху.

Термическое сопротивление теплоотдаче от теплоносителя внутри трубы к внутренней поверхности стенки изолируемого объекта $R_{вн}^L$ может не учитываться ввиду малости по сравнению с другими слагаемыми уравнения (1) (СП 61.13330.2012, п. В.2).

Относительная погрешность рассматриваемого метода расчета не превышает 3 % [31].

Теплопроводности материалов труб примем:

- для композитной трубы $\lambda_{комп} = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- для стальной трубы $\lambda_{ст} = 58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, т. е. в 166 раз больше, чем у композитной.

Для поддержания одних и тех же исходных условий и сопоставления полученных результатов, вне зависимости от материала стенки (сталь, композит), примем следующие допущения:

- 1) внутренний диаметр труб примем равным 100 мм;
- 2) толщину стенки труб также примем одинаковой и равной 4 мм;
- 3) коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляции примем равным $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (горизонтальные трубопроводы, расположение — в закрытом помещении, покрытие — с высоким коэффициентом излучения) как наиболее распространенный вариант использования композитных трубопроводов в настоящее время.

Результаты

Для более корректного сопоставления результатов исследования рассмотрим два случая.

Случай первый: труба без теплоизоляции.

Определим отношение общего сопротивления теплопередаче композитной трубы к общему сопротивлению теплопередаче стальной трубы:

$$\begin{aligned} \frac{R_{общ(комп)}^L}{R_{общ(ст)}^L} &= \frac{R_{комп}^L + R_{н}^L}{R_{ст}^L + R_{н}^L} = \frac{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{комп}} \ln \frac{d_{н}^{тр}}{d_{вн}^{тр}} + \frac{1}{\pi \cdot d_{н}^{тр} \cdot \alpha_{н}}}{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{ст}} \ln \frac{d_{н}^{тр}}{d_{вн}^{тр}} + \frac{1}{\pi \cdot d_{н}^{тр} \cdot \alpha_{н}}} = \\ &= \frac{\frac{1}{2\pi \cdot 0,35} \ln \frac{0,108}{0,100} + \frac{1}{\pi \cdot 0,108 \cdot 10}}{\frac{1}{2\pi \cdot 58} \ln \frac{0,108}{0,100} + \frac{1}{\pi \cdot 0,108 \cdot 10}} = 1,12, \end{aligned} \quad (2)$$

т. е. общее сопротивление теплопередаче композитной трубы всего на 12 % больше общего сопротивления теплопередаче стальной трубы, несмотря на

то, что теплопроводность стали в 166 раз выше, чем композита на полимерном связующем.

Отношение тепловых потоков q_L^i (через поверхности стального и композитного трубопроводов) при этом составит те же 12 %, так как

$$\frac{q_L^{\text{ст}}}{q_L^{\text{комп}}} = \frac{\frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_{\text{общ}}^L(\text{ст})}}{\frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_{\text{общ}}^L(\text{комп})}} = \frac{R_{\text{общ}}^L(\text{комп})}{R_{\text{общ}}^L(\text{ст})} = 1,12. \quad (3)$$

Случай второй: труба с теплоизоляцией.

В качестве слоя теплоизоляции примем минераловатные изделия с теплопроводностью 0,04 Вт/(м · К).

При толщине слоя изоляции 20 мм отношение общего сопротивления теплопередаче изолированной композитной трубы по отношению к общему сопротивлению теплопередаче изолированной стальной трубы составит

$$\begin{aligned} \frac{q_L^{\text{ст+из}}}{q_L^{\text{комп+из}}} &= \frac{R_{\text{общ}}^L(\text{комп+из})}{R_{\text{общ}}^L(\text{ст+из})} = \frac{R_{\text{комп}}^L + R_{\text{из}}^L + R_{\text{н}}^L}{R_{\text{ст}}^L + R_{\text{из}}^L + R_{\text{н}}^L} = \\ &= \frac{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{комп}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}^{\text{тр}}} + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{из}}}{d_{\text{вн}}^{\text{из}}} + \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{н}}^{\text{из}} \cdot \alpha_{\text{н}}}}{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}^{\text{тр}}} + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{из}}}{d_{\text{вн}}^{\text{из}}} + \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{н}}^{\text{из}} \cdot \alpha_{\text{н}}}} = \frac{1,505}{1,470} = 1,02, \quad (4) \end{aligned}$$

т. е. сокращение потерь тепловой энергии через поверхность изоляции для изолированной композитной трубы составит 2 % по сравнению с изолированной стальной трубой.

При толщине слоя изоляции 40 мм:

$$\begin{aligned} \frac{q_L^{\text{ст+из}}}{q_L^{\text{комп+из}}} &= \frac{R_{\text{общ}}^L(\text{комп+из})}{R_{\text{общ}}^L(\text{ст+из})} = \frac{R_{\text{комп}}^L + R_{\text{из}}^L + R_{\text{н}}^L}{R_{\text{ст}}^L + R_{\text{из}}^L + R_{\text{н}}^L} = \\ &= \frac{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{комп}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}^{\text{тр}}} + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{из}}}{d_{\text{вн}}^{\text{из}}} + \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{н}}^{\text{из}} \cdot \alpha_{\text{н}}}}{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}^{\text{тр}}} + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{из}}}{d_{\text{вн}}^{\text{из}}} + \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{н}}^{\text{из}} \cdot \alpha_{\text{н}}}} = \frac{2,411}{2,376} = 1,01, \quad (5) \end{aligned}$$

т. е. сокращение потерь тепловой энергии через поверхность изоляции для изолированной композитной трубы составит всего 1 % по сравнению с изолированной стальной трубой, что очень далеко от заявленных выше 50 %.

Выводы

Результаты выполненного исследования показывают:

1. Тепловой поток через поверхность неизолированного композитного трубопровода с внутренним диаметром 100 мм и толщиной стенки трубы 4 мм на 12 % меньше, чем у стального аналога.

2. При толщине тепловой изоляции 20 мм тепловой поток через поверхность изолированного композитного трубопровода с внутренним диаметром 100 мм и толщиной стенки трубы 4 мм на 2 % меньше, чем у изолированного стального аналога.

3. При толщине тепловой изоляции 40 мм тепловой поток через поверхность изолированного композитного трубопровода с внутренним диаметром 100 мм и толщиной стенки трубы 4 мм на 1 % меньше, чем у изолированного стального аналога.

4. Утверждение о том, что потери тепла через поверхность композитных (стекло- или стеклобазальтопластиковых) труб вдвое (на 50 %) меньше, чем у их стальных аналогов, следует признать несостоятельным, так как в тепловых сетях неизолированные трубопроводы в настоящее время не используются. Основной вклад в сокращение потерь тепла через поверхность трубопровода обеспечивает тепловая изоляция. Вклад материала, из которого изготовлена труба, в сокращение потерь тепла в тепловых сетях крайне незначителен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating Smart Thermal Grids into Future Sustainable Energy Systems / H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire et al. // *Energy*. 2014. No. 68. Pp. 1—11.
2. Lopes L., Hokoi S., Miura H., Shuhei K. Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings—research methodology and surveyed results // *Energy and Buildings*. 2005. Vol. 37. Pp. 698—706.
3. Guoa W., Qiaoa X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 50. Pp. 196—203.
4. Zadvinskaya T. O., Gorshkov A. S. Comprehensive method of energy efficiency of residential house // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 953-954. Pp. 1570—1577.
5. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system / A. Kaklauskas, J. Rute, E. K. Zavadskas et al. // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 50. Pp. 7—18.
6. Entropa A. G., Brouwersb H. J. H., Reindersc A. H. M. E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate // *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42. Pp. 618—629.
7. Корниенко С. В. Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2017. Вып. 49(68). С. 167—177.
8. Аверьянов В. К., Юферев Ю. В., Мележик А. А., Горшков А. С. Теплоснабжение городов в контексте развития активных потребителей интеллектуальных энергетических систем // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 1. С. 78—87. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-78-87.
9. Юферев Ю. В., Артамонова И. В., Горшков А. С. Об анализе тепловых нагрузок потребителей при разработке и актуализации схем теплоснабжения // *Новости теплоснабжения*. 2017. № 8. С. 32.
10. Аверьянов В. К., Горшков А. С., Васильев Г. П. Повышение эффективности централизованного теплоснабжения существующего жилого фонда // *Вестн. гражданских инженеров*. 2018. № 6(71). С. 99—111. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-6-99-111.
11. Аверьянов В. К., Васильев Г. П., Горшков А. С. Повышение эффективности использования тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения // *Строительство: новые технологии — новое оборудование*. 2019. № 9. С. 43—52.
12. Горшков А. С., Кабанов М. С., Юферев Ю. В. Анализ тепловых нагрузок и удельного потребления тепловой энергии в многоквартирных домах // *Теплоэнергетика*. 2021. № 8. С. 72—80. DOI: 10.1134/S0040363621050052.
13. Бухин В. Е. Полипропиленовые напорные трубопроводы в инженерных системах зданий. М. : АВОК-Пресс, 2010. 106 с.

14. *Дмитриев Г. В., Жигалов Н. А.* Полимерные трубы в системах отопления // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. Пенза, 2020. С. 115—117.
15. *Пухал В. А.* Моделирование бесканальной прокладки теплопроводов в районах многолетнемерзлых грунтов // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 5. С. 38—42.
16. *Воробьев И. Н.* Преимущество применения композитных материалов при ремонте трубопроводов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2013. № 7(32). С. 47—50.
17. *Отставнов А. А., Харьков В. А.* Трубы из реактопластов, армированных стекловолокном // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2014. № 2(146). С. 30—34.
18. *Байков И. Р., Смородова О. В., Китаев С. В.* Энергетическая эффективность нанокompозитных трубопроводов // Нанотехнологии в строительстве : науч. интернет-журн. 2018. Т. 10. № 3. С. 20—36.
19. *Моисеев Е. Ю.* Анализ статистики аварийных ситуаций на тепловых сетях г. Дубна // Системный анализ в науке и образовании. 2015. № 3(29). С. 11—20.
20. *Филенков В. М., Дремов А. Г.* Использование защитных покрытий для восстановления работоспособности водопроводных сетей // Вестн. НГИЭИ. 2015. № 6(49). С. 77—80.
21. *Кирюхин С. Н., Сеннова Е. В., Шиманская А. О.* Оценка данных о технологических нарушениях в тепловых сетях // Энергосбережение. 2018. № 6. С. 22—26.
22. Model of damage accumulation in heat networks / A. Gorshkov, G. Vasilyev, M. Popov, M. Kolesova, P. Rymkevich // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 012032. DOI: 10.1088/1742-6596/1311/1/012032.
23. *Горшков А. С., Рымкевич П. П.* Износ и повреждение тепловых сетей. Решение проблемы качества и надежности энергоснабжения // Энергосбережение. 2019. № 4. С. 50—55.
24. *Горшков А. С., Рымкевич П. П.* Износ и повреждение тепловых сетей. Решение проблемы качества и надежности энергоснабжения // Энергосбережение. 2019. № 5. С. 62—72.
25. *Воинцева И. И., Новиков М. Г., Продоус О. А.* Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы. АВОК — Северо-Запад, 2019. № 1. С. 44—47.
26. *Горшков А. С.* Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии : учеб. пособие. СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2013. 160 с.
27. Energy processes with natural quantization / E. A. Shakhova, P. P. Rymkevich, A. S. Gorshkov, M. Yu. Egorov, A. S. Stepashkina // E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES-2019. 2019. P. 01046. DOI: 10.1051/e3sconf/201912401046.
28. *Сорокин А. М.* Мониторинг систем теплоснабжения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 90—98.
29. Защита от биокоррозии металлических конструкций оголовка водозаборного сооружения / Ю. Ю. Юрьев, А. В. Москвичева, А. Г. Тимофеев, А. А. Болеев, К. В. Катеринин, Н. Г. Вурдова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 104—109.
30. *Медведева О. Н., Сауткина Т. Н.* Использование вероятностного метода для прогноза состояния трубопроводов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 84—95.
31. *Горшков А. С., Ефименко М. Н.* Относительная ошибка метода расчета требуемой толщины теплоизоляции трубопроводов по нормам плотности теплового потока // Инженерные системы. АВОК — Северо-Запад. 2018. № 3. С. 34—36.

© Горшков Р. А., Войлоков И. А., 2023

Поступила в редакцию
в декабре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Горшков Р. А., Войлоков И. А. Сравнительный анализ энергетической эффективности стальных и композитных труб // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 371—377.

Об авторах:

Горшков Ростислав Александрович — студент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП). Российская Федерация, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, лит. А; rostalsgor@gmail.com

Войлоков Илья Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. организации строительства, Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4; i.voilokov@outlook.com

Rostislav A. Gorshkov^a, Ilya A. Voilokov^b

^a *Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation*

^b *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF STEEL AND COMPOSITE PIPES

The article presents a comparative analysis of the energy efficiency of steel and composite (glass and basalt-plastic) pipes intended for use in heating networks. The main advantages and disadvantages of pipes made of different materials are considered. The calculation of thermal energy losses through the surface of steel and composite pipelines with the same internal diameter and wall thickness of pipelines, but different thickness of thermal insulation (20 and 40 mm). It is shown that, regardless of the material of the pipeline wall, the loss of thermal energy through the insulation surface does not exceed 2 %, in the absence of insulation — 12 %. The results obtained differ significantly from the statement that the loss of thermal energy through the surface of composite pipelines is 50 % lower than that of their steel counterparts. This circumstance should be taken into account when designing the thermal insulation of equipment, pipelines, flues and air ducts located in buildings and outdoors.

Key words: heating networks, pipelines, thermal insulation, energy efficiency.

For citation:

Gorshkov R. A., Voilokov I. A. [Comparative analysis of energy efficiency of steel and composite pipes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 1, pp. 371—377.

About authors:

Rostislav A. Gorshkov — Student, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI). 67, Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; rostalsgor@gmail.com

Ilya A. Voilokov — Candidate of Engineering Sciences, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, Vtoraya Krasnoarmeiskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; i.voilokov@outlook.com