

УДК 697.343

2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение
(технические науки)

КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ВНУТРЕННИХ СТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ. АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Н. И. Куриленко¹, К. Е. Кузьменко^{1,2}¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия² АО «СУЭНКО», Тюмень, Россия

CORROSION OF INTERNAL STEEL SURFACES IN THE HEAT SUPPLY NETWORK. ANALYSIS AND DETECTION METHODS

Nikolai I. Kurilenko¹, Kirill E. Kuzmenko^{1,2}¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia² JSC "SUENCO", Tyumen, Russia

Аннотация. Тепловые сети Тюменской области характеризуются высокой повреждаемостью, следствием чего являются повышенные тепловые потери и сниженная эксплуатационная экономичность тепловых сетей. Снижение надежности тепловых сетей увеличивает затраты на их эксплуатацию, а также влечет дополнительные затраты на устранение последствий аварийных ситуаций, восстановление благоустройства городской среды. Рассматриваемой причиной повышенной аварийности трубопроводов в данной статье является коррозионное разрушение внутренней поверхности и его последствия, определенные в ходе эксплуатационной деятельности на ресурсоснабжающем предприятии в г. Тобольске на протяжении отопительных периодов 2018–2022 годов. Проведен анализ источника возникновения коррозионного разрушения

Abstract. Heat supply networks in Tyumen region are characterized by a high damage rate, and as a result increase heat losses and reduce operating efficiency of heat supply networks. Reducing the reliability of heating networks increases the cost for their operation, for the elimination of the consequences of accidents and the restoration of the urban environment. The authors of this article consider that the cause of increased pipeline failure is internal corrosion damage and its consequences, detected in the operation at the resource supply company in Tobolsk during the heating periods of 2018-2022. An analysis of the source of the internal corrosion appearance on steel pipelines of different diameters and different types of laying was carried out, an attempt to determine the correlation between external corrosion layer and internal one was made, the influence of the oxygen content

внутренней поверхности на стальных трубопроводах различных диаметров и различных типов прокладки, выполнена попытка определения корреляции наличия внешнего коррозионного слоя от внутреннего, учтено влияние содержания кислорода в теплоносителе. В ходе подготовки статьи рассмотрены различные мероприятия по минимизации возникновения коррозионного разрушения внутренней поверхности трубопровода и снижения уровня кислорода, растворенного в водной среде.

Ключевые слова: тепловые сети, тепловая изоляция, теплоснабжение, тепловые потери, трубопроводы, коррозия

Для цитирования: Куриленко, Н. И. Коррозионное разрушение внутренних стальных поверхностей в тепловых сетях. Анализ и методы определения / Н. И. Куриленко, К. Е. Кузьменко. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-46-52. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4 (102). – С. 46–52.

For citation: Kurilenko, N. I., & Kuzmenko, K. E. (2022). Corrosion of internal steel surfaces in the heat supply network. Analysis and detection methods. Architecture, Construction, Transport, (4(102)), pp. 46-52. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-46-52.

Введение

Ввиду обширной территории Российской Федерации, а также разнообразия климатических особенностей различаются подходы к решению вопроса теплоснабжения жилого фонда и производственных зданий и сооружений. Время основания городской инфраструктуры также накладывает отпечаток на устоявшиеся технологические решения, например, применение открытой и закрытой системы теплоснабжения, количество контуров в сети снабжения услугами ГВС и отопления отличаются в каждом регионе, городе даже при незначительном расстоянии между ними. Традиционно города, начавшие развивать инфраструктуру раньше других, сталкиваются с большим количеством эксплуатационных проблем инженерных систем. Примером тому являются Екатеринбург, Тобольск, в европейской части страны – Санкт-Петербург. Это города с обширной системой открытого теплоснабжения, без нали-

in the heat transfer fluid was taken into account. During preparing the article, different variants to minimize the corrosion damage of the internal pipeline surface and to reduce the level of oxygen dissolved in the aqueous environment have been considered.

Key words: heat supply networks, heat insulation, heat supply, heat losses, pipelines, corrosion

чия смешения и разделения контуров отопления и ГВС. Для вновь возводимых районов выбирают технически более совершенные системы, однако существующий фонд, не охваченный реновацией и модернизацией, зачастую сталкивается с описываемыми в данной статье проблемами.

Объект и методы исследования

Объектом исследования в статье являются тепловые сети, предметом – причины, повлекшие за собой аварийные ситуации, связанные с немеханическим воздействием. В данном исследовании была рассмотрена система теплоснабжения г. Тобольска, которая включает в себя городскую ТЭЦ, 25 квартальных котельных различной мощности, а также более 145 км тепловых сетей диаметром от DN 1000 до DN 32 в двухтрубном исчислении.

Проведен анализ аварийных ситуаций, возникших на тепловых сетях за отопительные пе-

риоды 2018–2022 годов, и результатов шурфовки поврежденных участков. На основании систематического анализа полученных данных, а также визуального и измерительного контроля подвигшихся коррозии элементов трубопроводов были выдвинуты предположения относительно природы возникновения коррозионных процессов в исследуемом типе технологической системы теплоснабжения.

Результаты и обсуждение

Повреждения трубопроводов тепловых сетей

На основании данных оперативно-диспетчерской службы, архивов 2018–2022 годов установлено, что средняя повреждаемость трубопроводов составляет 0,9 аварийных случая на 1 км тепловой сети, при рассмотрении лишь отопительного периода данное соотношение составляет 0,22 отказа на 1 км. Подавляющее большинство аварийных случаев (более 80 %) обусловлено воздействием коррозионного разрушения наружной поверхности [1–3].

Однако детальный анализ после выполнения шурфовки трубопровода показал, что в 50 % случаев выхода из строя тепловой сети причиной является коррозионное разрушение как наружной, так и внутренней поверхности. Зачастую первичным источником возникновения коррозионного разрушения ошибочно считают коррозию наружной поверхности, которая имеет большую зону поражения и приводит к более заметному поражению стенок. Повреждение внутренней поверхности менее заметно и проявляется в виде небольшого отверстия, эпицентром которого является дно коррозионной лунки, достигшее наружной поверхности стального трубопровода, или трещина в сварочном шве.

Через образовавшиеся отверстия осуществляется незначительное поступление теплоносителя в теплоизоляционный слой с последующим увлажнением теплоизоляции. Подобные нарушения герметичности очень сложно поддаются обнаружению даже при наличии работоспособной системы оперативного дистанционного контроля. Ввиду повышенной эксплуатационной загруженности редко удается выявить увлажнение изо-

ляции [4]. Появление подобного рода отверстий приводит к выходу сетевой воды под давлением с дальнейшим утонением металла по всей площади распространения теплоносителя. Вследствие обширного утонения стального трубопровода образуется свищ или происходит порыв тепловой сети. На основании вышеизложенного сделан вывод о внутреннем коррозионном разрушении как о первопричине 50 % случаев аварийных ситуаций на трубопроводах, без учета случаев механического воздействия [5].

Для удобства отображения данные были систематизированы и представлены в виде графика (рис. 1), который демонстрирует корреляцию повреждений в подающих и обратных трубопроводах для всех сетей, а также для сетей с подвальным типом прокладки или прокладкой внутри иных технологических помещений [6].

Из рис. 1 видно, что повреждаемость трубопроводов сетей ресурсоснабжающего предприятия в целом в 3–4 раза выше, чем в трубопроводах подвального типа прокладки. На участках подвальной прокладки коррозионным разрушением наружной поверхности в масштабах рассматриваемого объема тепловых сетей можно пренебречь, в связи с этим определено, что различия в повреждаемости были вызваны внутренними причинами, а именно – техническими свойствами физико-химических параметров теплоносителя. Это характерно и для сети в целом. То обстоятельство, что соотношение повреждаемости прямых и обратных трубопроводов было приблизительно таким же, дает основания полагать, что доминирующий вклад в повреждаемость сетей вносит коррозионное разрушение внутренней поверхности, а не внешней [7].

Для определения влияния коррозионного разрушения внутренней поверхности полученные данные были систематизированы с целью установления зависимости удельной поверхности повреждаемости (штук повреждений на единицу площади наружной поверхности трубопровода) от диаметра трубопровода. Графические данные приведены на рис. 2.

Влияние коррозионного разрушения на трубопроводы в диапазоне от 32 до 159 мм не имеет

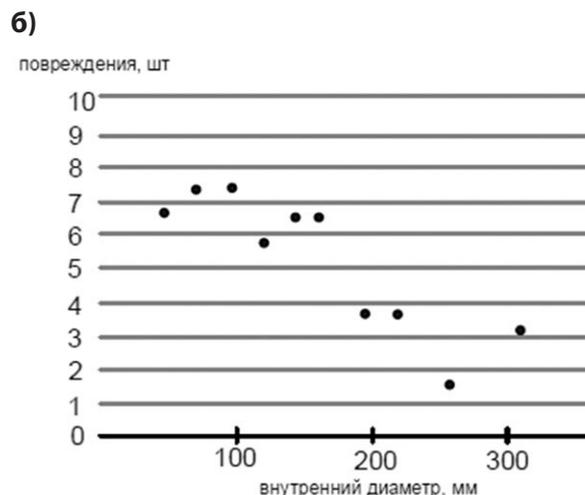
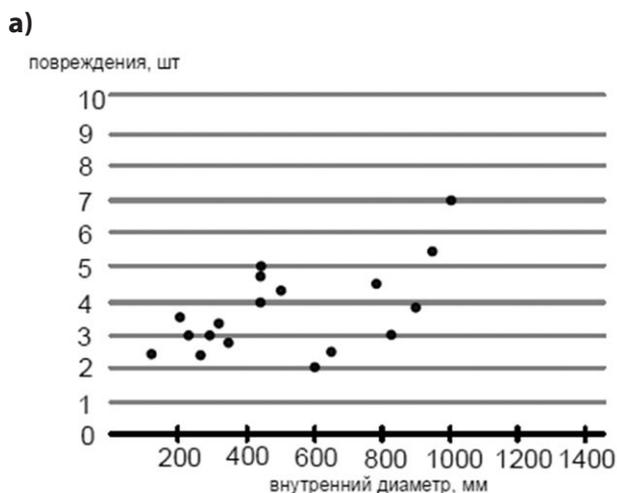


Рис. 1. Количество повреждений в трубопроводах тепловой сети в зависимости от диаметра:
 а) тепловые сети в целом; б) участки подвальной прокладки

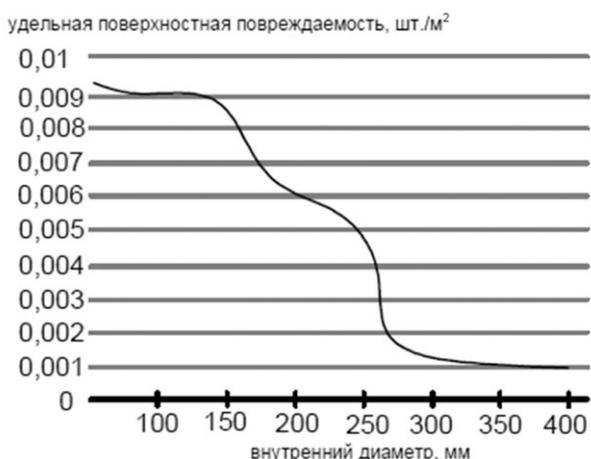


Рис. 2. Соотношение диаметров эксплуатируемых трубопроводов к удельной площади поврежденных тепловых сетей

значимых отличий по причине незначительных расхождений толщины стенок трубопроводов, вследствие чего объяснить планомерное снижение повреждаемости в этом диапазоне в рамках данного исследования не представляется возможным [8]. Однако графические данные позволяют определить зависимость развития коррозионного разрушения от гидравлического режима,

что подтверждает тезис о влиянии диаметра трубопровода на интенсивность разрушения.

Интенсивность коррозионного разрушения при кислородном воздействии

Наличие свободного кислорода в системах теплоснабжения накладывает определенные ограничения на теплоснабжающие организации в части наладки процессов химической очистки, умягчения и дозирования реагентов-ингибиторов. Требования к поставляемому теплоносителю должны соответствовать СанПиН 2.1.3684-21¹. Качество воды, поступающей потребителям, должно отвечать требованиям санитарно-эпидемиологических правил и норм, предъявляемых к питьевой воде. Ввиду отсутствия технической и экономической возможности установки деаэраатора на сетевом контуре теплоснабжения, причиной повышенного коррозионного воздействия на углеродистую сталь является растворенный в воде кислород, влияние которого лимитируется скоростью его доставки. Источником поступления кислорода в замкнутый контур теплоносителя является вода из системы химводоочистки (подпиточный контур), в рассматриваемой системе

¹ Питьевая вода : СанПиН 2.1.4.2496-09 : официальное издание : утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ Г. Г. Онищенко от 07 апреля 2009 г. № 20. – Москва : Роспотребнадзор, 2009. – 17 с. – Текст : непосредственный.

ме контур не деаэрируется, однако в существующих баках-аккумуляторах в целях минимизации воздействия водной и воздушных сред реализована система подачи герметизирующего слоя на поверхность теплоносителя в пределах бака. Особенностью распространения кислорода является то, что при удалении от источника теплоснабжения (считай, подпитки) концентрация кислорода в воде снижается, ввиду чего обратные трубопроводы менее подвержены коррозионному разрушению. При корректном подборе и наладке гидравлического режима тепловой сети средняя скорость движения теплоносителя составляет 1 м/с, что для наружных систем означает турбулентный режим движения среды. Для вычисления массового переноса среды принимаем критериальное уравнение (1) [6, 9]:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Sc^{0,33}, \quad (1)$$

где Nu – числовое значение Нуссельта (2);
 Re – числовое значение Рейнольдса (3);
 Sc – числовое значение Шмидта (4).

Критериальные числа определяются как:

$$Nu = \frac{N \cdot d}{D \cdot (c_b - c_o)}, \quad (2)$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

$$Sc = \frac{\nu}{D}, \quad (4)$$

где N – удельный поток массы на поверхность трубы (на единицу концентрации);
 d – диаметр трубопровода, мм;
 D – коэффициент диффузии кислорода;
 c_b – концентрация кислорода в центре потока, %;
 c_o – концентрация кислорода у стенок трубопровода, %;
 V – кинематический коэффициент вязкости;
 ν – скорость движения жидкости, м/с.

Итоговые расчетные данные приведены на рис. 3.

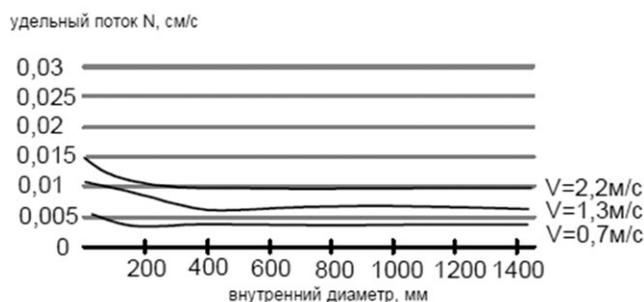


Рис. 3. Зависимость удельного потока массы кислорода на стенку трубопровода от диаметра

Выводы

Исходя из вышеизложенного, следует вывод, что удельный поток кислорода пропорционально повышается при увеличении скорости потока и сужении диаметра трубопровода [10]. Представленные данные также подтверждают информацию на рис. 2. Количественные различия могут быть нивелированы, если принять во внимание, что ранее методики подбора трубопроводов обеспечивали большую скорость в трубопроводах с малым диаметром. Следует учитывать также, что наличие ржавчины, сужающей свободное сечение трубопровода, способствует ускорению движения потока.

При рассмотрении и сопоставлении данных основной целью являлось определение источников возникновения коррозионных процессов. Методы предупреждения коррозии и анализ их влияния на уменьшение интенсивности развития коррозионного разрушения являются целью дальнейших исследований.

Результаты, приведенные в данной статье, можно использовать для корректировки мероприятий, связанных с мониторингом технического состояния тепловых сетей, имеющих на балансе ресурсоснабжающих организаций. Полученная информация указывает на необходимость выполнения первичных предупреждающих мероприятий, связанных с промывкой трубопроводов, а также обосновывает необходимость регулярного проведения гидравлических и механических испытаний на участках, наиболее приближенных к источнику теплоно-

сителя, по причине наибольшей концентрации растворенного кислорода в среде теплоносителя, или в местах подключения подпиточных либо резервных теплогенерационных установок.

Библиографический список

1. Кашеев, В. П. Сравнительный анализ ППУ и ППМ изоляции трубопроводов / В. П. Кашеев, В. А. Поляков. – Текст : электронный // РосТепло.ру : сайт. – URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3220 (дата обращения: 11.09.2022).
2. Балабан-Ирменин, Ю. В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Ю. В. Балабан-Ирменин, В. М. Липовских, А. М. Рубашов. – 2-е изд., перераб., доп. – Москва : Новости теплоснабжения, 2008. – 288 с. – Текст : непосредственный.
3. Защита трубопроводов от коррозии / В. С. Ромейко, В. Г. Баталов, В. И. Готовцев [и др.]. – Москва : ВНИИМП, 1998. – 208 с. – Текст : непосредственный.
4. Балабан-Ирменин, Ю. В. О защите трубопроводов теплосети от внутренней коррозии / Ю. В. Балабан-Ирменин. – Текст : электронный // РосТепло : сайт. – 2011. – URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2856 (дата обращения: 01.08.2022).
5. Слепченко, В. С. Внутренняя коррозия в открытых системах теплоснабжения и пути ее снижения / В. С. Слепченко, К. Н. Брусов. – Текст : электронный // РосТепло.ру : сайт. – URL : https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1515 (дата обращения: 11.09.2022).
6. Блуждающие токи и способы борьбы с ними / С. А. Панфилов, О. В. Кабанов, А. В. Мартынов, Н. А. Ежов. – Текст : электронный // Аллея науки. – 2018. – Т. 1. – № 4 (20). – С. 322–325. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_34975081_90096871.pdf (дата обращения: 05.09.2022).
7. Балабан-Ирменин, Ю. В. Проблемы внедрения антинакипинов в системах теплоснабжения / Ю. В. Балабан-Ирменин, А. М. Рубашов, В. П. Думнов. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 1996. – № 4. – С. 11–13.
8. Иванов, В. В. Моделирование тепловых процессов подземных бесканальных теплотрасс / В. В. Иванов, С. В. Шкребко. – Текст : непосредственный // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. – Москва, 1998. – Т. 7. – С. 106–108.
9. Иванов, В. В. Распределение температур и тепловых потоков в зоне подземных теплотрасс / В. В. Иванов, Л. Б. Вершинин. – Текст : непосредственный // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. – Москва, 1998. – Т. 7. – С. 103–105.
10. Коррозия и защита металлов : учебно-методическое пособие / О. В. Ярославцева, Т. Н. Останина, В. М. Рудой, И. Б. Мурашова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2015. – 90 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Kashcheev, V. P., & Polyakov, V. A. Sravnitel'nyy analiz PPU i PPM izolyatsii truboprovodov. RosTeplo.ru. (In Russian). Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3220 (accessed 11.09.2022).
2. Balaban-Irmenin, Yu. V., Lipovskikh, V. M., & Rubashov, A. M. (2008). Zashchita ot vnutrenney korrozii truboprovodov vodyanykh teplovykh setey. 2nd edition, revised. Moscow, Novosti teplosnabzheniya Publ., 288 p. (In Russian).
3. Romeiko, V. S., Batalov, V. G., Gotovtsev, V. I., Dubenchak, V. E., & Simonova, I. A. (1998). Zashchita truboprovodov ot korrozii. Moscow, VNIIMP Publ., 208 p. (In Russian).

4. Balaban-Irmenin, Yu. V. (2011). O zashchite truboprovodov teploseti ot vnutrenney korrozii. RosTeplo. (In Russian). Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2856 (accessed 01.08.2022).
5. Slepchenok, V. S., & Brusov, K. N. (2000). Vnutrennyaya korroziya v otkrytykh sistemakh teplosnabzheniya i puti ee snizheniya. (In Russian). Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1515 (accessed 11.09.2022).
6. Panfilov, S. A., Kabanov, O. V., Martynov, A. V., & Ezhov, N. A. (2018). Bluzhdayushchie toki i sposoby bor'by s nimi. Alleya nauki, 1(4(20)), pp. 322-325. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_34975081_90096871.pdf (accessed 05.09.2022).
7. Balaban-Irmenin, Yu. V., Rubashov, A. M., & Dumnov, V. P. (1996). Problemy vnedreniya antinakipinov v sistemakh teplosnabzheniya. Promyshlennaya energetika, (4), pp. 11-13. (In Russian).
8. Ivanov, V. V., & Shkrebko, S. V. (1998). Modelirovanie teplovykh protsessov podzemnykh beskanal'nykh teplotrass. Trudy Vtoroy Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu. Moscow, Izdatel'stvo MEI Publ., (7), pp. 106-108. (In Russian).
9. Ivanov, V. V., & Vershinin, L. B. (1998). Raspredelenie temperatur i teplovykh potokov v zone prokladki teplotrass. Trudy Vtoroy Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu. Moscow, Izdatel'stvo MEI Publ., (7), pp. 103-105. (In Russian).
10. Yaroslavtseva, O. V., Ostanina, T. N., Rudoy, V. M., & Murashova, I. B. (2015). Korroziya i zashchita metallov. Yekaterinburg, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin" Publ., 90 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Куриленко Николай Ильич, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: Kurilenkoni@tyuiu.ru

Кузьменко Кирилл Евгеньевич, аспирант кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, начальник отдела реализации инвестиционной программы по коммунальному комплексу акционерного общества «СУЭНКО», e-mail: kirill.kuzm72@gmail.com

Information about the authors

Nikolai I. Kurilenko, Candidate in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: Kurilenkoni@tyuiu.ru

Kirill E. Kuzmenko, Postgraduate at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, Head of the Investment Program Implementation Department, JSC "SUENCO", e-mail: kirill.kuzm72@gmail.com