

Взаимосвязь качества воды с экологичностью, безопасностью и энергоэффективностью при применении энергетического метода водоподготовки в системах водотеплоснабжения

М. Н. Торопов, к. т. н., заведующий лабораторией «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ МИИТ)

Проанализирована взаимосвязь качества воды с экологичностью, безопасностью и энергоэффективностью систем водотеплоснабжения транспортного комплекса (водопроводы, системы водотеплоснабжения и водоохлаждения промышленного оборудования ремонтных предприятий, подвижного состава). Рассмотрены основные проблемы систем водотеплоснабжения в отрасли и традиционные методы решения проблем. По проанализированному материалу планируется опубликовать в журнале «Инженерные системы» цикл статей по данному направлению. Перед вами — первая статья из этого цикла.

1. Основные проблемы систем водотеплоснабжения в транспортном комплексе (ремонтные предприятия, подвижной состав)

Согласно национальному докладу «Теплоснабжение Российской Федерации. Пути выхода из кризиса», тепловые сети России — самые дорогие в мире. В частности, замена трубопроводов из-за коррозии происходит в России в 4–5 раз чаще, чем принято в других странах. Из-за низкого качества труб и еще более низкого качества работ по переукладке трубопроводов реальный срок их службы составляет 5–7 лет вместо 25 запланированных. В частности, по сравнению с Западной Европой аварийность водопроводных сетей РФ в 2–4 раза выше (рис. 1) [1, 2].

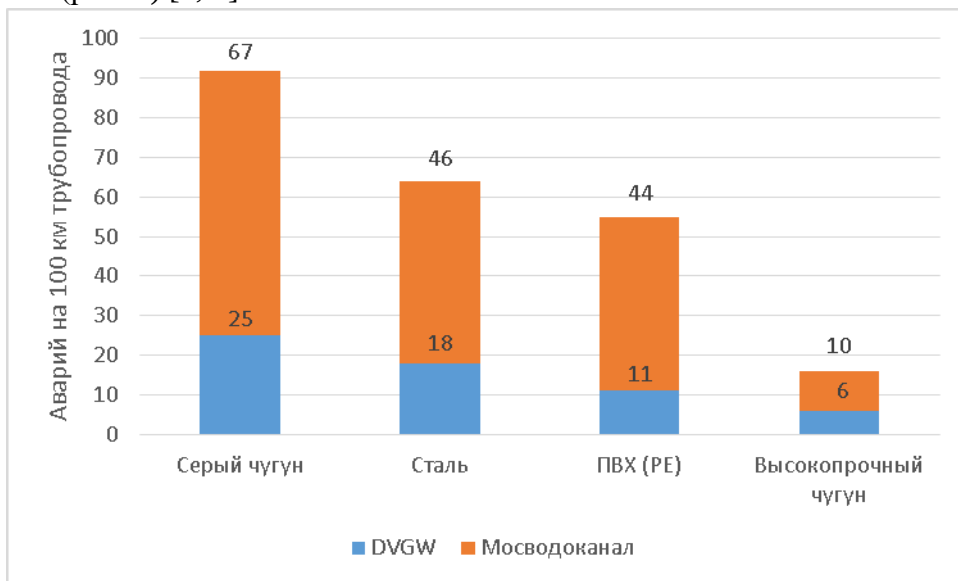


Рис. 1. Статистика повреждения трубопроводов по данным Мосводоканала и DVGW (Германия)

Столь большую разницу можно объяснить высокой степенью износа систем. Интенсивность отказов зависит также от диаметров трубопроводов. Самыми проблемными являются трубопроводы распределительных сетей (рис. 2) [3].

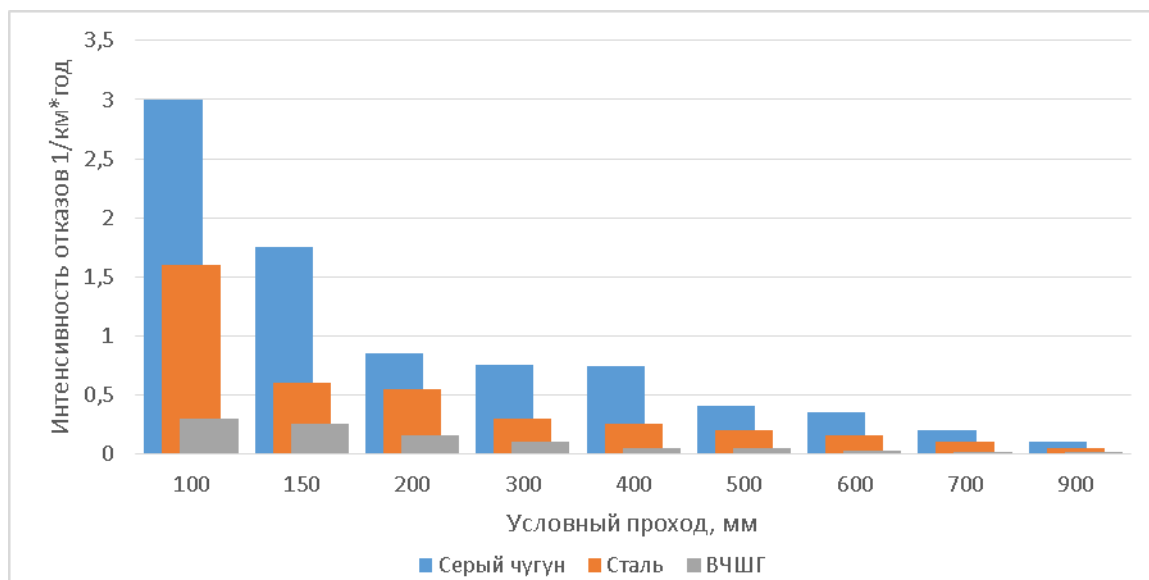


Рис. 2. Зависимость интенсивности отказов трубопроводов московского водопровода от диаметра труб, изготовленных из различных конструкционных материалов

Именно в них из-за коррозии и отложений возникает так называемое вторичное загрязнение транспортируемой воды. Это делает бессмысленным предварительную водоподготовку традиционными методами, так как в этом случае нет возможности обеспечить потребителей доброкачественной питьевой водой, в том числе и в пассажирских вагонах. Существенно при этом увеличиваются и затраты энергии на транспортировку воды по загрязненным поверхностям.

Перечисленное осложняется также тем, что при общей системе водотеплоснабжения у магистральных сетей один хозяин, а у распределительных другой. Давно сложившийся в России отраслевой стереотип, когда на стыке областей неплохая автомагистраль превращалась в бездорожье.

При этом качество питьевой и технической воды, ее соответствие санитарно-эпидемиологическим нормам определяется как качеством воды в самом источнике водоснабжения, так и состоянием транспортирующих сетей, степенью их загрязнения продуктами коррозии, песчано-глинистыми и органическими отложениями. Подобные загрязнения способствуют развитию в трубопроводах биопроцессов, росту колоний железистых, сульфат- и сульфат-нитрозо- и нитратобактерий, водорослей и грибов. Проявлением этого являются: биокоррозия, деполяризация электрохимической коррозии, образование запахов, подкисление воды, загрязнение ее коллоидами, железом, марганцем [4].

Эти факторы особенно сильно влияют на коррозионность водной среды и интенсивность ее накипеобразования, не учитываемые СанПиН 2.1.4.1074-01, но определяющие в конечном итоге как энергоэффективность, так и безопасность и экологичность эксплуатации систем водотеплоснабжения и водоохлаждения.

Внедряя наши технологии на обширных территориях (рис. 3–4), мы определили (рис. 5–6), что на исследуемых объектах скорость коррозии превышает аварийные значения (0,2 мм/год) в 2–8 раз, интенсивность накипеобразования в 2–6 раз. При этом толщина отложений варьируется от 2 до 12 мм [5].



Рис. 3. География распространения ЭМВ на ремонтных предприятиях транспортного комплекса



Рис. 4. География распространения ЭМВ на системах водотеплоснабжения и калориферных ветвях пассажирских вагонов

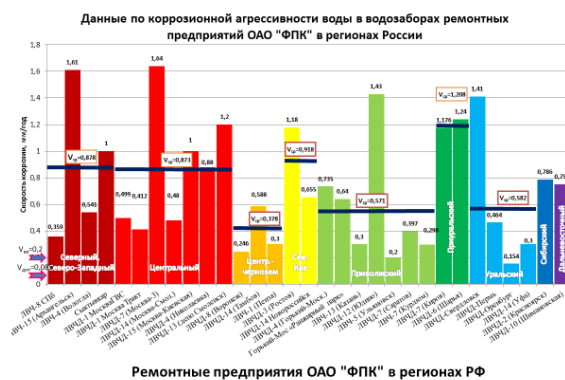


Рис. 5. Коррозионная агрессивность воды, используемой в системах водотеплоснабжения ремонтных предприятий и подвижного состава в различных регионах РФ

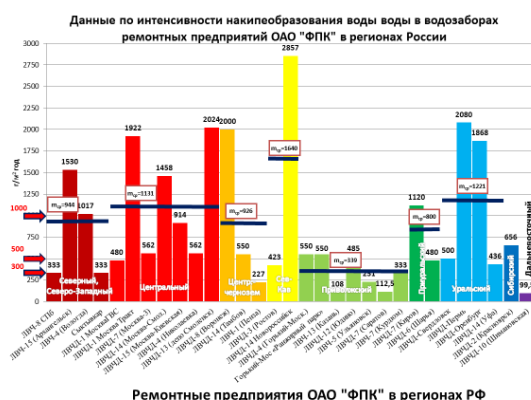


Рис. 6. Интенсивность накипеобразования воды, используемой в системах водотеплоснабжения ремонтных предприятий и подвижного состава в различных регионах РФ

В качестве нормативных документов при определении вышеуказанных параметров использовались:

- «Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденные Приказом Минэнерго РФ от 24.03.2003 № 115;
- «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов», утвержденные постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 № 88;
- «Правила технической эксплуатации судовых вспомогательных паровых котлов», утвержденные Госкомрыболовством РФ приказом от 05.05.99 № 107;
- Методические указания по оценке интенсивности внутренней коррозии в тепловых сетях РД 153-34.1-17.465-00;
- СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Как видно из рис. 5–6, качество исходной воды в системах водотеплоснабжения далеко не идеально.

В качестве примера приведем официальные данные по состоянию систем водотеплоснабжения одной из областей РФ, а именно Тульской области: износ сетей водоснабжения 85–89%, отсутствие водоподготовки, превышение ПДК по железу, жесткости, сухому остатку, стабильному стронцию. Более 43% жителей области не получают воду надлежащего качества. К этому стоит добавить загрязнение воздуха вредными выбросами и водоемов сточными водами от объектов теплоэнергетики.

Подобные проблемы существуют и в других регионах РФ. Причем качество воды кроме влияния на организм человека определяет и технологические параметры используемого оборудования. В частности, нами определена взаимосвязь коррозионной агрессивности и интенсивности накипеобразования воды (рис. 7–8), заправляемой в системы пассажирских вагонов, с технологическими параметрами их эксплуатации (скоростью коррозии, перерасходом ТЭР).

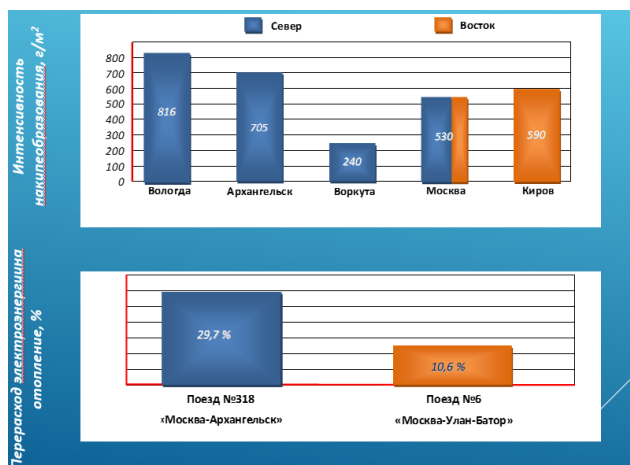


Рис. 7. Взаимосвязь интенсивности накипеобразования в заправочных гидрантах и перерасхода электроэнергии на отопление вагонов поездов северного и восточного направлений

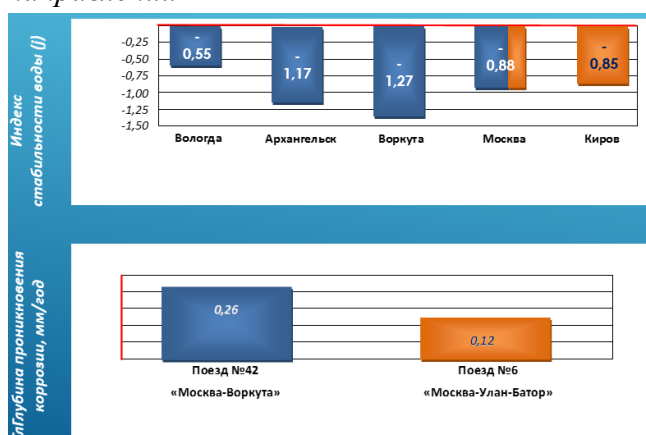


Рис. 8. Взаимосвязь коррозионной агрессивности воды в пунктах экипировки вагонов водой и скорости коррозии в системах водотеплоснабжения поездов северного и восточного направлений

Оценена интенсивность накипеобразования при нагревании воды, взятой из заправочных гидрантов ряда железнодорожных станций (Архангельск, Вологда, Воркута, Киров, Москва и др.). Также оценен индекс стабильности воды (j) в тех же пунктах, характеризующий уровень ее агрессивности. Полученные результаты сравнивали со скоростью коррозии и перерасходом электроэнергии на отопление пассажирских вагонов, регулярно и длительное время курсирующих по направлениям: Москва — Воркута, Москва — Архангельск, Москва — Пекин, Москва — Улан-Батор.

Установлено, что **коррозионность воды и интенсивность ее накипеобразования в конечном итоге определяют перерасход ТЭР на отопление вагонов и ресурс эксплуатации систем.** Так, на условном восточном направлении перерасход электроэнергии на отопление составил 10,6% за срок наблюдения четыре года, а на условном северном направлении — 29,7% за тот же срок. При этом скорость коррозии металла в системах водотеплоснабжения пассажирских вагонов также больше на северном направлении, что определяет большие затраты на ремонт указанных систем.

При этом, по мнению специалистов из Института микробиологии РАН, как на водопроводных, так и на тепловых сетях до температур 80–85 °С прослеживается как электрохимическая, так и микробиологическая коррозия (рис. 9) [6, 7].



Рис. 9. Микробиологическая коррозия на сетях заправки вагонов водой и водопроводе пассажирского вагона

Причем микробиологическая коррозия выявляется как на металлических, так и на пластиковых и металлопластовых сетях, в том числе и при использовании низкотемпературных жидкостей [14]. На тепловых сетях вследствие возникновения термических напряжений она вызывает разрушение конструкции, на водопроводных — насыщение воды железом, марганцем. С микробиологической коррозией борются окислителями, электрохимической — ингибиторами. При этом известно, что ингибиторы усиливают микробиологическую коррозию [8]. Указанные проблемы зачастую решаются с применением нескольких технологий [9, 10].

Перед нами стояла сложная задача обеспечить энергоэффективность, экологичность и безопасность сетей, которую к тому же предстояло решить в рамках единой технологии.

2. Традиционные пути решения проблемы

Большинство перспективных разработок в рамках решения проблемы износа трубопроводов носит конструкционный характер [11] и требует адекватных капитальных затрат (полная или частичная замена трубопроводов и оборудования, различные полиэтиленовые и «рукавные лайнеры» без разрушения старых сетей — «труба в трубе», пневмопробойники и разрушители ветхих трубопроводов с одновременным протаскиванием «жестких» лайнеров, микротоннелирование с применением полимерных обечаек и др.). Особо следует отметить технологии анодной и катодной защиты.

Перечисленные методы связаны с большими материальными и трудовыми затратами. Но **проблему** они не решают, так как не меняются параметры водной среды с ее **высокими коррозионностью и интенсивностью накипеобразования**.

Для стабильной работы трубопроводов также важен выбор материалов, их пригодность к местным климатическим условиям. В России в основном применяют стальные трубы. Так, по данным Мосводоканала, при протяженности сетей в Москве на 2021 год свыше 10 тысяч км стальные трубы составляли 72% от общей протяженности сетей, чугунные — 26% (в том числе около 2000 км труб из высокопрочного чугуна), железобетонные и трубы из полиэтилена — порядка 2%.

Недостатки полимерных труб при существенном плюсе — несклонности к электрохимической и газовой коррозии известны [12]. Это сравнительно небольшой срок службы. И хотя называют срок эксплуатации 50 лет, эти данные вызывают сомнения. Заверения многих поставщиков, что их трубы рассчитаны на температуру 95 °С и давление 10 атм (1,0 МПа), абсолютно не говорят об их долговечности при таких параметрах. С такими значениями любая пластмассовая труба прослужит не более 2–3 лет.

На рис. 10 приведен характерный вид разрушений пластиковых трубопроводов на ремонтных предприятиях ОАО «ФПК». Образование такого дефекта, как вспучивание трубопровода (отдушины), происходит в течение двух лет после ввода его в эксплуатацию [13].

Образование «отдулин» (указано стрелкой) на поверхности трубопроводов после двух лет эксплуатации. На этом месте произойдет разрушение конструкций



Рис. 10. Вид разрушения пластиковых конструкций в системах теплоснабжения ремонтных предприятий

По данным DIN8077A1 и НИИмосстроя, труба из полимера PN20 при температуре 95°C и давлении 0,54 МПа прослужит пять лет. К этому следует добавить низкие показатели длительной прочности, малый модуль упругости, повышенную ползучесть, атмосферное старение. Механическая прочность пластмассовых труб не позволяет с ними обращаться как со стальными.

Следует указать и большую чувствительность к ударным нагрузкам при отрицательных температурах и наличие в сетях биокоррозии [14].

Все это свидетельствует о том, что вряд ли в России с ее суровыми климатическими условиями произойдет смена такого привычного материала, как металл. Это подтверждает и тот факт, что в странах, близких к нам по климатическим условиям (Канада, Север США), наибольшее распространение (80%) получили металлические трубы. Среди них наблюдается значительный рост трубопроводов из высокопрочного чугуна (ВЧ). Безаварийный срок службы таких труб составляет 80–100 лет. В системах канализационных сточных вод — 50–60 лет. Для ВЧ свойственны высокие механические характеристики, близкие к стали 55.

Тот факт, что общее количество труб из черных металлов не опустится ниже 75%, подтверждает то, что, по данным Международного института стали (IJSI), в мире наблюдается дальнейший рост производства черных металлов.

Главный вклад в этот процесс вносят страны Азии. В условиях глобализации мировой экономики промышленно развитые страны ориентируются на ускоренный рост наукоемких и экологически чистых производств в своих странах, увеличивая инвестиции в расширение неэкологичного производства черных металлов вне своих регионов.

Сравнительные технологические характеристики трубопроводов из черных металлов и пластмассы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Некоторые сравнительные технологические характеристики трубопроводов из черных металлов и пластмассы

Параметры Материал	Отношение стоимости 1 кг материала к его удельной прочности*, йены	Интенсивность биообрастаний**, мг/см ² /100 час	Стойкость материала к хлорированию	Экологическая безопасность материала
ЧЕРНЫЙ МЕТАЛ	0,9	40±3,0	Стоек	Инертен
ПЛАСТМАССА	3,5	25±5,0	Не стоек	Выделяет вредные вещества

* - В.Н. Бернадский, О.К. Маковецкая ИЭС им. Патона. «Сталь и алюминий, основные конструкционные материалы сварочного производства». Технология машиностроения, 2005 г., № 2, стр. 5-21 (стр. 7). В статье, в том числе, представлены расчеты японских специалистов по определению затрат при использовании трубопроводов из черных металлов и пластмасс.

** - М.Н. Менча. «Формирование биообрастаний на традиционных материалах оборудования системы питьевого водоснабжения». Сборник докладов 7-го международного конгресса «Вода: экология и технологии», часть 1, стр. 591

Обращает на себя внимание (табл. 1), что пластмассовые трубы, по мнению японских специалистов, ввиду своих низких прочностных характеристик обходятся почти в четыре раза дороже стальных трубопроводов.

Что касается меди, при всех своих достоинствах медные трубы имеют два минуса. Они ускоренно разрушаются при взаимодействии с кислой средой при несоответствии водной среды санитарным нормам. Сказанное является частым явлением для РФ [15]. И второй минус — цена [15].

При несоответствии транспортируемой воды санитарным нормам возможно и межкристаллическое разрушение конструкций даже из нержавеющей стали (рис. 11).

Коррозионные разрушения системы водоохлаждения импортного оборудования (Германия), выполненного из нержавеющей стали из-за употребления воды низкого качества (псевдоустойчивой)



Рис. 11. Коррозионные разрушения систем водоохлаждения импортного оборудования (Германия), выполненного из нержавеющей стали, из-за употребления воды низкого качества (псевдоустойчивой)

Кроме металлических, нашли применение, в частности, в США, трубы из композитных материалов со сроком службы 30–50 лет [16].

В начале 2000-х годов в России успешно продвигалась отечественная разработка — базальтовые трубы. [9, 16]. Они лишены существенных недостатков пластика. Срок службы таких труб в различных климатических условиях составляет 60–100 лет. Но эта перспективная технология была в свое время успешно «похоронена».

Но, раз остается металл, в том числе и выбранный с позиции «цена-качество», остаются и проблемы, с ним связанные, а именно необходимость проведения дополнительной антикоррозионной и антиадгезионной обработки трубопроводов и оборудования во время эксплуатации.

При этом следует иметь в виду, что провести защитные мероприятия по всей внутренней поверхности систем традиционными методами одновременно практически невозможно.

В сетях теплоснабжения для улучшения ситуации используют различные технологии водоподготовки, которые в какой-то мере позволяют решить указанные задачи, оставляя при этом нерешенные вопросы, а именно [17]:

1. Отсутствие длительной защиты от возникновения коррозионных и солеотложений процессов на поверхностях трубопроводов и оборудования (это касается и водопроводов).
2. Невозможность устранения протечек, тепловых потерь.
3. Невозможность уменьшения объема сточных вод и концентрации вредных компонентов в выбросах в атмосферу.
4. Невозможность приведения параметров ВХР к требованиям нормативных документов.

Использование в качестве защиты от накипи химводоподготовки существенно влияет на экологическую ситуацию. Химводоподготовка — процедура сложная и дорогостоящая. Она сопряжена с необходимостью содержания кислотных и щелочных хозяйств, а также образованием большого количества кислотосодержащих и солевых стоков, утилизация которых с экологической точки зрения проблематична.

Кроме того, химическая очистка вызывает разрушение обрабатываемых конструкций. На рис. 12 представлено сравнительное состояние теплопроводов пассажирского вагона после химической очистки и разработанного нами энергетического метода водоподготовки.

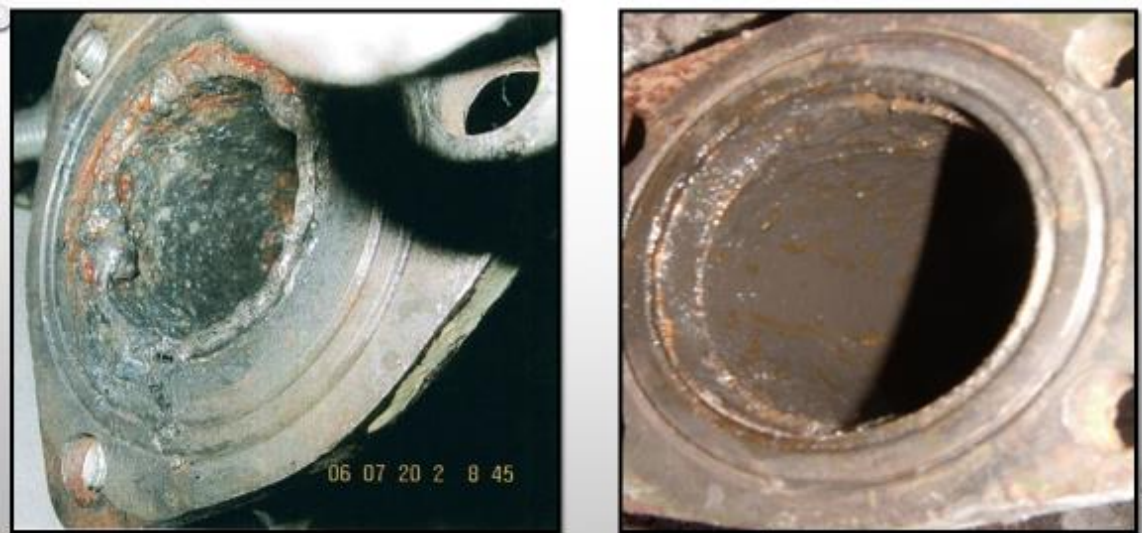


Рис. 12. Внешний вид трубопровода отопления вагона после химической очистки (слева) и после применения энергетического метода (справа)

С учетом сложившейся ситуации родилось новое направление, связанное с развитием гидравлического расчета металлических труб с отложениями [18]. Такой подход позволяет определить оставшийся ресурс трубопроводов.

Перечисленное повлияло на необходимость разработки нового подхода к проблеме.

Заключение

1. Замена трубопроводов в системах водотеплоснабжения в России происходит в 4–5 раз чаще, чем в Западной Европе. В основном это связано с вторичным загрязнением транспортируемой воды. В распределительных сетях указанное явление наблюдается чаще, чем в магистральных.

2. Проведенные исследования на значительном количестве объектов водотеплоснабжения РФ подтвердили высокое значение коррозионности водной среды и ее интенсивность накипеобразования.
3. Установлена взаимосвязь между указанными в п. 2 параметрами водной среды с технологическими параметрами эксплуатации вагонного парка (скорость коррозии, перерасход ТЭР).
4. Использование пластиковых трубопроводов, по мнению японских специалистов, обходится в 3–4 раза дороже применения трубопроводов из черных металлов ввиду низких прочностных свойств пластика.
5. Для продления срока службы черных металлов и сплавов (чугун, в том числе высокопрочный, сталь) целесообразно применять антикоррозионную и антиадгезионную обработку. В результате ресурс эксплуатации стальных трубопроводов можно повысить по крайней мере до 50–70 лет.

Литература

1. Торопов М. Н. О возможности выполнения в России решений Киотской конференции. Технология машиностроения. 2005, № 2.
2. Круглов В. М., Торопов М. Н. и др. Программный подход к решению проблем износа основных производительных фондов — путь улучшения ситуации в ЖКХ. Реформа ЖКХ. 2004, № 4.
3. Торопов М. Н. Износ — проблема общая. Технология машиностроения. 2004, № 6.
4. Торопов М. Н. Комплексный подход к приведению качества питьевой воды в соответствие с санитарно-эпидемиологическими нормами. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2006, № 7.
5. Торопов М. Н., Бегунов П. П., Селиванов А. С., Перков И. Е. Продление ресурса эксплуатации и повышение энергоэффективности систем водотеплоснабжения и водоохлаждения. Инженерные системы. 2020, № 1.
6. Рязанова Г. П., Ентальцева Л.А. Распространение сульфатовосстанавливающих бактерий трубопроводов тепловой сети и причины появления в воде сероводорода. Микробиология. 1999, том 68, № 1.
7. Рязанова Г. П., Дубинина Г. А. и др. Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов. Микробиология. 2003, том 72, № 2.
8. Торопов М. Н., Селиванов А. С., Васильев Н. В., Бегунов П. П., Перков И. Е. Так ли безопасны ингибиторные комплексы для систем водоохлаждения дизелей тепловозов? Наука транспорту. 2022, № 1.
9. Торопов М. Н. Материалы для тепловодопроводов. Металл или пластик? Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2006, № 12.
10. Торопов М. Н. «Результаты внедрения «ТермоДАВ» на объектах стационарной теплоэнергетики». Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2007, № 1.
11. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Бестраншейные методы восстановления водопроводных методов восстановления водопроводных и водоотводящих сетей. М. 2006.
12. Круглов В. М., Торопов М. Н. Новый отечественный метод санации трубопроводов. РОБТ. 2006, № 4.
13. Топалов С. «Российские теплосети. Проблемы и решения». Полимерные трубы. 2004, № 2.

14. Торопов М. Н., Васильев Н. В., Перков И. Е. Некоторые особенности применения энергетического метода водоподготовки (ЭМВ) на пластиковых и металлопластовых сетях. Инженерные системы. 2021, № 2.
15. Ионов В. С. Медные трубы в системах водо-, тепло- и газоснабжения. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2006, № 2.
16. Смирнов Л. Н., Карпова З. И., Смирнов А. В., Куницын Ю. К. Базальтовые трубы для транспортировки жидкостей и для кабельной канализации. Строительные материалы, оборудование, технологии. 199/4.
17. Торопов М. Н., Селиванов А. С., Перков И. Е., Васильев Н. В. Взаимосвязь экологичности, безопасности и энергоэффективности при использовании ЭМВ в системах водотеплоснабжения. Инженерные системы. АВОК — Северо-Запад. 2022, № 1.
18. О. А. Продоус, П. П. Якубчик. Новый подход к гидравлическому расчету металлических трубопроводов водоснабжения с отложениями на внутренних стенках. Инженерные системы. 2022, № 1.