

ЕДИНАЯ ПРИРОДОПОДОБНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ЗАДАЧ СИСТЕМ ВОДОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М. Н. Торопов, заведующий лабораторией РУТ МИИТ

А. С. Селиванов, старший преподаватель РУТ МИИТ

И. Е. Перков, заместитель начальника отдела АО «ВНИИЖТ»

Н. В. Васильев, инженер РУТ МИИТ

Ф. В. Сапожников, ведущий научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

В статье отражен более чем 20-летний опыт по защите различных транспортных систем (подвижной состав, судовые системы, энергетические установки, тепловые и водопроводные сети, системы охлаждения промышленного оборудования) от накипи, коррозии, биообрастания единой природоподобной технологией.

1. Предпосылки к созданию природоподобной технологии

Более 20 лет специалисты РУТ (МИИТ) разрабатывают и серийно внедряют в рамках программ повышения энергоэффективности природоподобные энерго- и ресурсосберегающие технологии по защите различных систем от коррозии, накипи, биообрастания с улучшением качества воды, в том числе и питьевой, с уменьшением объема и концентрации сточных вод и выбросов в атмосферу [1].

Разработка и первоначальное внедрение вышеуказанной природоподобной технологии применительно к промышленным транспортным и хозяйственным объектам РФ были проведены в конце 80-х — начале 90-х годов прошлого века, когда страна вплотную столкнулась с катастрофическим износом техники, трубопроводов, конструкций, и затраты на их обновление стали неподъемными для бюджетов всех уровней. Так, в «Стратегии развития РФ до 2010 года» проблема износа стояла в ряду основных факторов, препятствующих экономическому развитию страны. В соответствии с этим документом изношенность водопроводных сетей в стране составляла 70%. Как следует из национального доклада «Теплоснабжение Российской Федерации. Пути выхода из кризиса», износ тепловых сетей был на уровне 60–70%.

Отмечалось, что тепловые сети России самые дорогие в мире. Так, замена трубопроводов из-за коррозии происходила в 4–5 раз чаще, чем в Западной Европе [2]. К тому же констатировалось: перерасход топлива, экологическое состояние водопроводных и тепловых сетей, влияющее на качество питьевой и технической воды, и увеличенное количество сточных вод и выбросов в окружающую среду.

Затрагивалась также весьма актуальная и на сегодняшний день проблема обеззараживания воды. Так, использование для обеззараживания хлорирования способствует появлению в воде галогеносодержащих соединений (ГСС), чрезвычайно

опасных для здоровья. Указывалось, что в хлорированной воде идентифицировано более 200 ГСС [3].

Именно в то неоднозначное время и был разработан программный подход к проблеме износа, в том числе и систем водотеплоснабжения [4–6], который и лег в основу решения вышеуказанных задач в рамках единой природоподобной технологии.

2. Некоторые результаты применения разработанной природоподобной технологии в транспортном комплексе

Для решения подобных многофакторных задач обычно требуется целый комплекс мероприятий и технологий, что определяет не только цену вопроса, но и выборочность (зачастую ничем не обоснованную) требуемых решений.

В качестве элементарной ячейки, на которой мы проверяли наши технологии, были выбраны пассажирские вагоны, по существу, «дом на колесах» с системами водоснабжения, в том числе питьевого, теплоснабжения, водоотведения и канализации, а также с калориферными ветвями [7].

Учеными-железнодорожниками был разработан и серийно внедрен энергетический метод водоподготовки (ЭМВ) на системах водотеплоснабжения, охлаждения и вентиляции подвижного состава (вагоны, тепловозы), ремонтных предприятиях (системы водотеплоснабжения, водоотведения и канализации, системы водяного охлаждения промышленного и транспортного оборудования) [8]. География применения метода на сетях водотеплоснабжения ремонтных предприятий и подвижного состава представлена на рисунках 1–2.



Рис. 1. География распространения ЭМВ на ремонтных предприятиях транспортного комплекса



Рис. 2. География распространения ЭМВ на системах водотеплоснабжения и калориферных ветвях пассажирских вагонов

Термин «энергетический метод» возник из-за использования в качестве рабочего тела механоактивированных минералов [9]. Такой продукт обладает повышенной энергией Гиббса, поэтому мы его назвали «энергент». При введении энергента в систему в ней меняются условия протекания естественных природных механизмов, работающих на границе раздела фаз.

Механизм работы энергента основан на адсорбции активированного тонкодисперсного материала, что приводит к возникновению межмолекулярного воздействия на границе раздела твердой и жидкой фазы. В качестве механизма компенсации на разделе фаз образуется двойной электрический слой (ДЭС) [10]. Если внести в слой раздела фаз частицы с сильными дефектами кристаллических решеток (рис. 3), то при перемещении дефектных областей на поверхности кристалла образуется дополнительное электрическое поле, что позволяет влиять на потенциал диффузионного слоя [11] и менять направленность и скорость реакций.

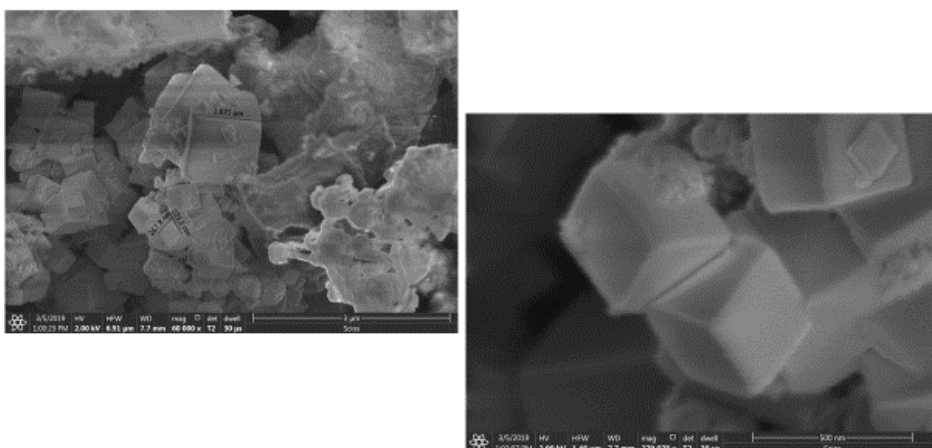


Рис. 3. Частицы энергента при увеличении $\times 3000$ и $\times 6000$

Из частиц разрушаемых отложений в потоке теплоносителя (охладителя) создаются крупные центры коагуляции. Происходит связывание свободного кислорода при окислении низших окислов железа до магнетита. Как показали исследования, дефектные места систем в результате введения в них эррегента заполняются образовавшимся при обработке магнетитом, кристаллическая решетка которого кольматируется соединениями кремния, алюминия и ряда других элементов [12]. Слой накладывается на слой. Образуется довольно-таки прочное соединение. Одна из разрабатываемых гипотез получения подобных соединений представлена на рис. 4.



Рис. 4. Механизм восстановления конструкций системы водотеплоснабжения в результате применения ЭМВ

О высокой прочности таких образований свидетельствует их появление после ЭМВ на сильно изношенных тепловых сетях Казанского вокзала города Москвы (рис. 5).

В результате обработки удалось снизить скорость коррозии трубопроводов в шесть раз и затянуть прочной пленкой 13 язв диаметром до 5 мм.

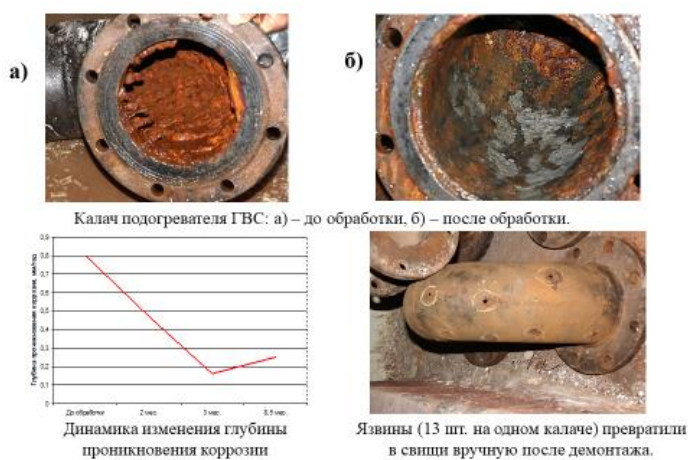


Рис. 5. Применение ЭМВ при обработке изношенных тепловых сетей

Проанализированы результаты применения метода: на системах водотеплоснабжения и калориферных ветвях пассажирских вагонов отечественного производства и фирмы Siemens при использовании в качестве теплоносителя воды и низкозамерзающей жидкости (рис. 6); системах охлаждения дизелей магистральных и маневровых тепловозов; системах охлаждения различного промышленного оборудования, выполненных из углеродистых и нержавеющей сталей; котлах, тепловых и водопроводных сетях, в том числе и на ремонтных предприятиях.



Рис. 6. Поточная обработка систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов в эксплуатационном депо

Системы очищены от накипно-коррозионных отложений без вывода вагонов из эксплуатации, успешно проведена консервация вагонов на период отстоя. Экономия электроэнергии на отопление вагонов составила 10–33% в зависимости от направления курсирования [7]. Качество воды приведено в соответствие нормативным документам, в том числе и в международных вагонах.

На рис. 7 представлена динамика улучшения качества воды в водопроводе города протяженностью 76 км в результате обработки артезианских скважин с применением ЭМВ. Так, в результате обработки содержание в воде таких опасных для здоровья элементов, как железо и марганец, снизилось соответственно: с 1,32 до 0,14 мг/л (при ПДК = 0,3 мг/л); с 0,94 до 0,01 мг/л (при ПДК = 0,09 мг/л).

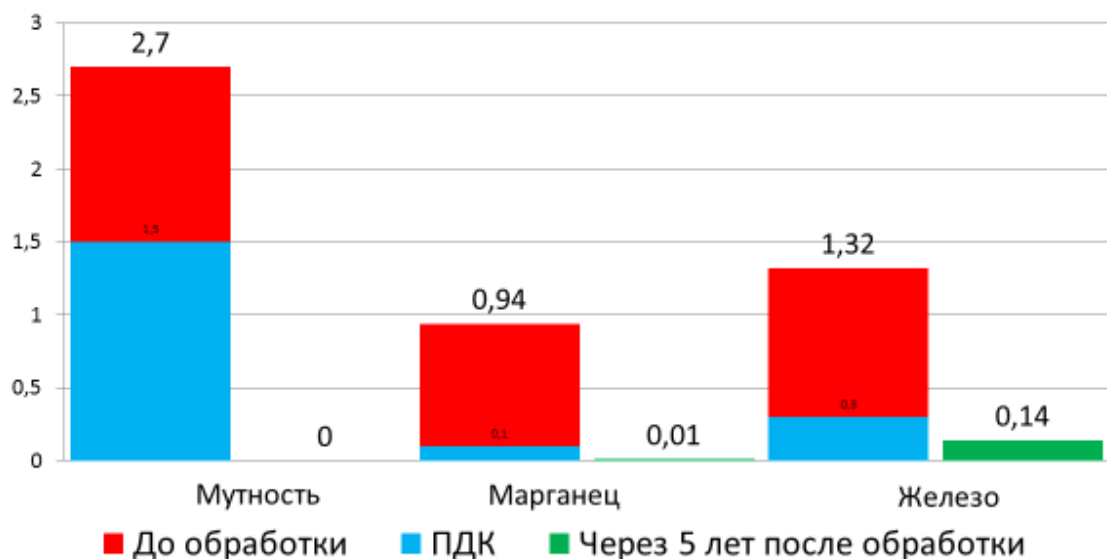


Рис. 7. Динамика улучшения качества воды в водопроводе железнодорожного поселка в результате применения ЭМВ

Кроме обработки с применением ЭМВ в эксплуатационном депо, мы вводили энергент в системы водотеплоснабжения и на ремонтных заводах во время капитального ремонта.

Ремонт проводился без разборки системы, а его качество наблюдалось в течение семи лет. Отмечена кратная экономия средств во время такого подхода [7].

Система водяного охлаждения дизелей тепловозов охлаждает дизель, масло и наддувочный воздух. В эту систему отводится до 40% теплоты, выделяющейся при работе двигателя. В качестве охлаждающей жидкости (ОЖ) используются шесть видов ОЖ, представляющие собой ингибиторные комплексы, тем не менее каналы водяной системы подвергаются коррозии, а в трубах секций холодильников и рубашек цилиндров дизелей накапливаются отложения, перекрывающие до 20% сечения каналов (рис. 8).



Рис. 8. Состояние системы водоохлаждения дизеля тепловоза

В результате обработки с применением ЭМВ системы полностью очистилась от накипно-коррозионных отложений с образованием на поверхности конструкции стойкой защитной пленки (рис. 9–12).



Рис. 9. Состояние втулок цилиндров до и через год после ЭМВ



Рис. 10. Состояние системы газораспределителя до и через год после ЭМВ.

Система с водой не контактирует. За счет налаживания ВХР система очистилась от вязких, маслянистых отложений



Рис. 11. Состояние рубашек охлаждения до и через год после обработки



Рис. 12. Состояние секций холодильника до и через год после ЭМВ

Время пролива на стационарном стенде водяной секции без обработки составило 129 секунд, обработанной с применением ЭМВ — 39 секунд.

При изучении коррозионных процессов в системе охлаждения дизеля отмечено два вида коррозии: электрохимическая и микробиологическая, обусловленная жизнедеятельностью железопродуцирующих бактерий. О том, что эти бактерии жизнедеятельны до температур 80–85 °С, свидетельствуют работы специалистов Института микробиологии РАН [13]. Бактерии заведомо присутствуют в тепловых сетях и системах охлаждения дизелей. Биоржавчина значительно уменьшает теплоотдачу материала, и создаются идеальные условия для развития под ее бугорком электрохимической коррозии. Кроме того, возникают термические напряжения, истощаются упругопластические свойства материала, происходит разрушение конструкции [14].

В эксперименте, проведенном в период с 09.2022 по 05.2023 совместно с Институтом океанологии РАН, было установлено, что в процессах коррозии стальных образцов в морской воде значительная роль (не менее 40%) принадлежит также бактериям, и подтверждено свойство энергента защищать сталь и пластик от биообрастания [15]. В процессе эксперимента в составе биогенной ржавчины, развивавшейся на образцах без энергента, было обнаружено пять устойчивых морфотипов колоний железобактерий и микроагрегаты формируемых ими спор. Это явление характерно и для синтетических материалов, пребывающих в морской воде [16]. На участках образцов, покрытых энергентом, образование таких бактерий не наблюдалось на всем протяжении эксперимента.

Известно также, что для обеззараживания воды и борьбы с биообрастанием рекомендуется использовать окислители, преимущественно хлор или гипохлорид натрия. С электрохимической коррозией борются в том числе и в системах охлаждения дизелей,

применяя ингибиторные комплексы, которые способствуют развитию биообрастания, т. е. микробиологической коррозии, являясь к тому же достаточно токсичными. Получая положительные результаты по борьбе с электрохимической коррозией, тем самым усиливают микробиологическую коррозию [17].

При использовании ЭМВ в рамках единой технологии проблема решается экологично:

- на участках, обработанных энергентом, нет биогенной коррозии;
- биопленка, обеспечивающая жизнедеятельность колоний и трактуемая как биообрастание, не может прикрепить колонии бактерий к двухмерным и объемным конструкциям, защищенным энергентом (рис. 13).



Рис. 13. Биообрастание пластика и коррозия стального образца. Экспозиция восьми месяцев. Карское море, Новая Земля, залив Благополучия (осадок внутри стального образца в воде с энергентом не закреплен на поверхности, он легко смывается)

На рис. 14 представлена динамика уменьшения скорости коррозии в тепловых сетях одного из московских вокзалов.

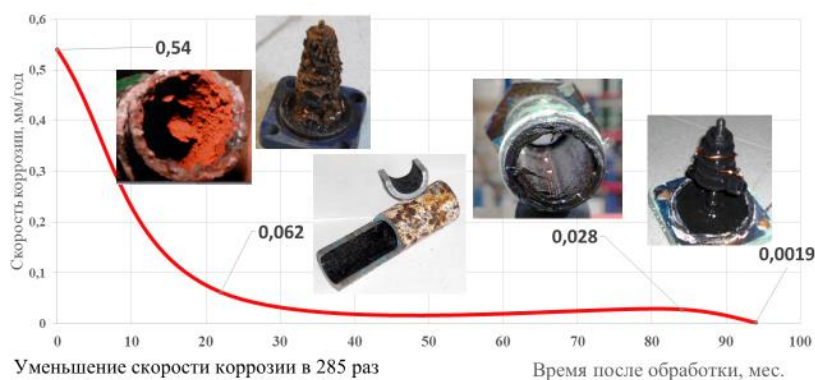


Рис. 14. Динамика уменьшения скорости коррозии в тепловых сетях транспортного комплекса в результате применения ЭМВ при сроке их эксплуатации порядка девяти лет

В результате обработки системы при первоначальных скоростях коррозии 0,54 мм/год в течение двух лет она уменьшилась до 0,062 мм/год, трех лет — до 0,028 мм/год, девяти лет — до 0,0019 мм/год (почти 2 микрона).

При таких скоростях коррозии стальная труба становится почти «вечной». Мы определяем ее ресурс по крайней мере в 50–70 лет.

На рис. 15 представлен результат по экономии теплоты в результате применения ЭМВ. Для сравнения приведены результаты перерасхода ТЭР, в случае если эти меры не проводились.



Рис. 15. Фактический перерасход / экономия теплоты на ремонтных предприятиях транспортного комплекса без и с применением ЭМВ

Внешний вид котлов грузового судна до и после применения ЭМВ, а также некоторые результаты обработки представлены на рис. 16–17.



Рис. 16. Обработка ЭМВ водяного тракта котельной корабля «Персей». Обработка водяного тракта и проведение очистки системы от накипно-коррозионных отложений проводилась в период навигации судна

после обработки



Место установки образцов-индикаторов скорости коррозии
Скорость коррозии до обработки 0,8-1,2 мм/год.
После обработки – 0,152 мм/год
Скорость коррозии после обработки уменьшилась в 10 раз



Греющие трубы (увеличено). Желтыми стрелками указаны места где отчетливо видно удаление отложений и формирование защитной пленки.



Вид на верхнюю стенку топочной камеры со стороны водного объема. Желтыми стрелками указаны места где отчетливо видно удаление отложений и формирование защитной пленки

Рис. 17. Изменение состояния водного тракта котельной судна и некоторых параметров ВХР через 12 месяцев после обработки

В результате обработки скорость коррозии металлоконструкций в котельной корабля «Персей» была снижена более чем в десять раз (с 0,8–1,2 мм/год) и стала меньше допустимых значений (0,085 мм/год).

Что касается изношенных конструкций, то следует учитывать локальность (неоднородность) коррозионного износа трубопроводов. После обработки всей такой системы с применением ЭМВ до 2/3 всего контура при необходимости можно заменить при капитальном ремонте. При этом дополнительного применения ЭМВ не требуется, так как энергетический потенциал с оставшихся участков перенесется на замененные. Это даст возможность сохранить здоровье трубы (то есть уменьшить расход материала), увеличить эксплуатационный ресурс отремонтированной системы за счет кратного снижения коррозионной агрессивности и интенсивности накипеобразования жидкой среды, значительно сократив при этом как продолжительность ремонта, так и материальные и финансовые затраты на его проведение.

Возможность использования ЭМВ при обработке сетей различной степени изношенности (новых, эксплуатируемых в течение длительного времени, изношенных, подвергаемых капитальному ремонту) лишний раз подтверждает, что разработанная единая технология решения многофакторных задач конструкций, контактирующих с жидкостями, в том числе и в транспортном комплексе, универсальна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Более чем 20-летний опыт работы с применением ЭМВ позволяет сделать следующие выводы:

1. Разработан и внедряется в транспортном комплексе в рамках программ энерго- и ресурсосбережения, энергоэффективности и безопасности природоподобная технология — энергетический метод водоподготовки (ЭМВ), основанный на введении в систему наноструктурированных механоактивированных, экологических природных

составов (энергентов). Метод применим для использования в сетях различной степени изношенности (новых, эксплуатирующихся в течение длительного времени, изношенных, подвергаемых капитальному ремонту).

2. В рамках единой технологии происходит:

- приведение качества используемой воды, в том числе и питьевой, в соответствие требованиям нормативных документов;
- кратное уменьшение коррозионной активности и интенсивности накипеобразования жидкой, в том числе водной среды и возможности возникновения электрохимической, микробиологической и межкристаллитной коррозии. Увеличение срока службы новых стальных трубопроводов по крайней мере до 50–70 лет.

Кроме того:

- метод инертен к любым конструкционным материалам и может работать на любом виде жидкости без дополнительных оборудования, материалов, энергии;
- применяемые составы обладают обеззараживающим действием и кратно уменьшают биообрастание систем в пресной и морской воде;
- при этом применение энергента в системах питьевой воды относится к безреагентному способу обеззараживания, что отвечает требованиям ГОСТ Р 58880-2020 [18];
- кратно уменьшаются выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы сточных вод в канализацию;
- после обработки увеличивается КПД работы используемого оборудования;
- результаты достигаются за счет однократной обработки систем на срок 5–7 лет в соответствии с разработанным временным графиком;
- метод экономически более предпочтителен по сравнению с традиционными методами водоподготовки.

3. Рассмотрена возможность более широкого применения метода в судовых системах, энергетических установках и береговой инфраструктуре водного транспорта. В результате представления технологии на международном научно-промышленном форуме «Транспорт. Горизонты развития», проводимом на нескольких площадках: Нижнего Новгорода, Новосибирска, Новороссийска, Владивостока, Керчи, Санкт-Петербурга, в рамках восьми тематических секций и шести пленарных заседаний. В резолюции по итогам его работы предложено провести обширные натурные испытания метода на

объектах водного транспорта (судовые системы, энергетические установки, береговая инфраструктура).

4. ЭМВ в полной мере соответствует требованиям ГОСТ 10150-88 «Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия» и ГОСТ 10150-2014 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия».

5. Учитывая решения Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими (МК BWM 2004), а также экологическую безопасность энергента, представляется возможным удешевить процессы очистки балластных вод и зачистки балластных танков судов, работающих в морях, в том числе и северных.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Н. Торопов «Износ — проблема общая». Технология машиностроения. 2004, № 6. С. 52–60.
2. М. Н. Торопов «О возможности выполнения в России решений Киотской конференции». Технология машиностроения, № 2, 2005, с. 52–60.
3. М. Г. Новиков, О. А. Продоус «Оценка эффективности обеззараживания воды для хозяйственно-питьевых целей различными реагентами». Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад, № 2, 2022, с. 28–34.
4. Торопов М. Н. «Перспективные технологии — путь инновационного развития». Забайкалье, № 2, 2002, с. 51–54.
5. Торопов М. Н., Вечерин С. В. «Мы не настолько богаты, чтобы пускать на металлолом изношенную технику». Ресурсы Забайкалья, № 1, 2003, с. 54–67.
6. Областная целевая программы «Защита деталей и узлов различной техники от износа». Азия-экспресс, № 3–4, 2003, с. 16–21.
7. М. Н. Торопов, И. Е. Перков, А. С. Селиванов, Н. В. Васильев, П. П. Бегунов «Повышение ресурса надежности систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов на основе разработки энергоэффективной, экологичной технологии водоподготовки». Наука и техника транспорта, № 3, 2022, с. 41–49.
8. М. Н. Торопов, П. П. Бегунов, И. Е. Перков, А. С. Селиванов, Н. В. Васильев «Энергетический метод водоподготовки применительно к объектам транспорта». Наука и техника транспорта, № 2, 2022, с. 26–33.
9. М. Н. Торопов, Н. В. Васильев, А. С. Селиванов «Об универсальной технологии лечения теплоэнергетических систем с водосодержащим теплоносителем». Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад, № 2, 2023, с. 64–66.
10. В. Т. Киселев «Влияние емкости двойного электрического слоя на скорость коррозии на границе фаз». Технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование, 2012, 3-2, с. 56–61.
11. В. В. Болдарев, Е. Г. Аввакумов «Механохимия твердых неорганических веществ — Успехи химии». 1971. Т. 40, с. 1835–1856.
12. М. Н. Торопов, Н. В. Васильев, П. П. Бегунов, В. Ю. Савин «Методы повышения энергоэффективности и безопасности работы децентрализованных систем теплоснабжения при их эксплуатации». Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад, № 1, 2023, с. 54–66.
13. Е. П. Розанова и др. «Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов». Микробиология, 2003, т. 72, № 2, с. 212–214.

14. М. Н. Торопов, Н. В. Васильев, А. С. Селиванов, И. Е. Перков «Уменьшение электрохимической и микробиологической коррозии в системах водоохлаждения дизелей локомотивов в рамках единой технологии — энергетического метода водоподготовки (ЭМВ)». Наука и техника транспорта, № 1, 2023, с. 8–18.
15. Н. В. Васильев, Ф. В. Сапожников, М. Н. Торопов, П. А. Зубов и др. «Проверка влияния энергетического метода воздействия на скорость биокоррозии на стальных и пластиковых образцах, размещенных в морской воде Карского моря». Материалы XVIII международной конференции МСОИ-2023 «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023), т. 1, с. 97–102.
16. Sapozhnikov P., Salimon A., Korsunsky A., Kalinina M., Nyina O., Statnik E., Snigirova A. Plastic in the aquatic environ — mental chemistry. Springer, Berlin, Heidelberg, 2021, pp. 197–254.
17. М. Н. Торопов, А. С. Селиванов, Н. В. Васильев, П. П. Бегунов, И. Е. Перков «Так ли безопасны ингибиторные комплексы для систем водоохлаждения дизелей тепловозов». Наука и техника транспорта, № 1, 2021, с. 11–18.
18. ГОСТ Р 58880-2020 Национальный стандарт. Система питьевой воды судовая. Правила проектирования. Ship potable water system. Design rules.