

УДК 629.5:620.197

Торопов Михаил Николаевич¹ – к.т.н., заведующий лабораторией РУТ МИИТ
e-mail: toropovmn@mail.ru

Селиванов Александр Сергеевич¹ – старший преподаватель РУТ МИИТ
e-mail: asselivanov@yandex.ru

Перков Иван Евгеньевич² – технический эксперт АО «ВНИИЖТ»
e-mail: toropovmn@mail.ru

Васильев Николай Викторович¹ – инженер РУТ МИИТ, e-mail:
e-mail: nikwas55@mail.ru

Матвеев Юрий Иванович³ – д.т.н., заведующий кафедрой ФГОУ ВО «ВГУВТ»
e-mail: matveeveseu@mail.ru

¹Российский университет транспорта (МИИТ), Москва Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, Москва, Россия.

³Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ЗАЩИТА СУДОВЫХ СИСТЕМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ НАКИПИ, КОРРОЗИИ, БИООБРАСТАНИЯ ЕДИНОЙ ПРИРОДОПОДОБНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

Аннотация. Существует «Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими» (МК ВВМ 2004). Работа специалистов РУТ (МИИТ) и эксперименты, поставленные совместно с ИО РАН, показали, что единая природоподобная технология энергетический метод водоподготовки (ЭМВ), применяемая без вывода из эксплуатации транспортных и стационарных объектов, не только борется с коррозией и накипеобразованием без повреждения конструкционных и уплотняющих материалов, но и препятствует процессу биообрастания материалов, обеспечивает обеззараживание, снижение объема и концентрации сточных вод, выбросов в окружающую среду. Статья основана на данных, полученных за период 2004-2023 годы.

Ключевые слова: биообрастание, коррозия, накипеобразование обеззараживание, природоподобная технология, ЭМВ, энергент, энергоэффективность

Более 20 лет специалисты РУТ (МИИТ) разрабатывают и серийно внедряют в рамках программ повышения энергоэффективности природоподобные энерго-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].

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 колёсах» с системами водоснабжения, в том числе, питьевого, теплоснабжения, водоотведения и канализации, а также калориферными ветвями [2].

Для решения поставленных задач в рамках единой технологии учёными железнодорожниками был разработан и серийно внедрён энергетический метод водоподготовки (ЭМВ) на системах водотеплоснабжения и вентиляции подвижного состава (вагоны, тепловозы), ремонтных предприятиях (системы водотеплоснабжения, водоотведения и канализации, системы водяного охлаждения промышленного оборудования и т.д.) [3]. География применения метода на сетях водотеплоснабжения ремонтных предприятий и подвижного состава представлена на рисунках 1-2.



Рисунок 1 – География распространения ЭМВ на ремонтных предприятиях транспортного комплекса



Рисунок 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 [4]. 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 твёрдой и жидкой фазы. В качестве механизма компенсации на разделе фаз образуется двойной электрический слой (ДЭС) [5]. Если внести в слой раздела фаз частицы с сильными дефектами кристаллических решёток (рисунок 3), то при перемещении дефектных областей на поверхности кристалла образуется дополнительное

электрическое поле, что позволяет влиять на потенциал диффузионного слоя [6] и менять направленность и скорость реакций.

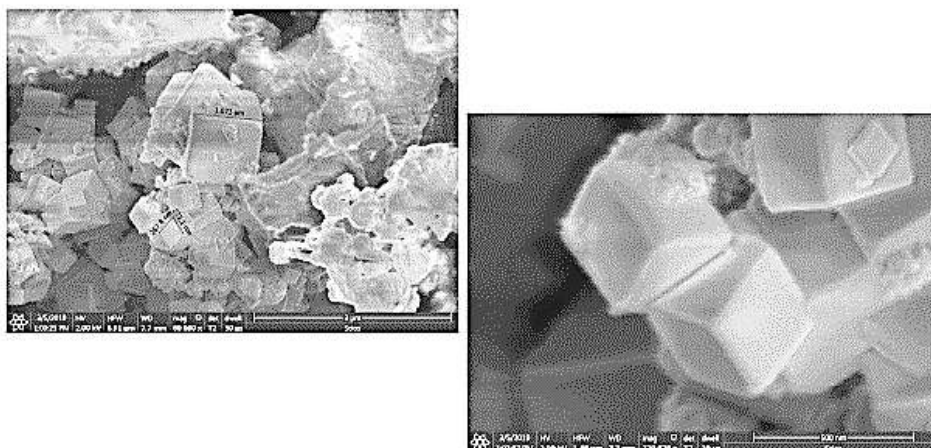


Рисунок 3 – Частицы энергента при увеличении $\times 3000$ и $\times 6000$

Из частиц разрушаемых отложений в потоке теплоносителя (охлаждителя) 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 энергента заполняются образовавшимся при обработке магнетитом, кристаллическая решётка которого кольматируется соединениями кремния, алюминия и ряда других элементов [7]. Слой накладывается на слой. Образуется довольно-таки прочное соединение. Одна из разрабатываемых гипотез получения подобных соединений представлена на рисунке 4.



Рисунок 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 (рисунок 5).

В результате обработки удалось снизить скорость коррозии трубопроводов в 6 раз и затянуть прочной плёнкой 13 язв диаметром до 5 мм.

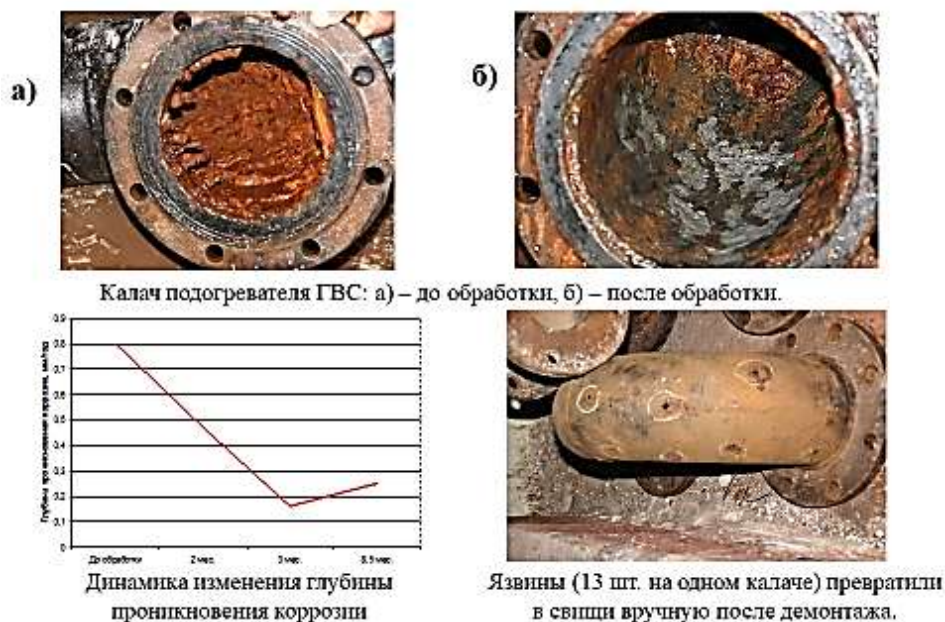


Рисунок 5 – Применение ЭМВ при обработке изношенных тепловых сетей

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; 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.

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 [2].

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

Ремонт проводился без разборки системы. Качество ремонта наблюдалось в течение 7 лет. Отмечена кратная экономия средств во время такого подхода [2].

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 6 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 (рисунок 6).



Рисунок 6 – 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 плёнки (рисунки 7-10).



Рисунок 7 – Состояние втулок цилиндров до и через год после ЭМВ



Рисунок 8 – Состояние системы газораспределителя до и через год после ЭМВ.

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



Рисунок 9 – Состояние рубашек охлаждения до и через год после обработки



**Время пролива на стенде
секции без обработки составило
129секунд**

**Время пролива секции после
обработки составило 39 секунд**

Рисунок 10 – Состояние секций холодильника до и через год после ЭМВ

Время пролива на стационарном стенде водяной секции без обработки составило 129 секунд, обработанной – 39 секунд.

При изучении коррозионных процессов в системе охлаждения дизеля отмечено два вида коррозии электрохимическая и микробиологическая, обусловленная жизнедеятельностью бактерий. О том, что эти бактерии жизнедеятельны до температур 80-85°C, свидетельствуют работы специалистов института микробиологии РАН [8]. Бактерии заведомо присутствуют в тепловых сетях и системах охлаждения дизелей. Биоржавчина значительно уменьшает теплоотдачу материала. создаются идеальные условия для развития под бугорком электрохимической коррозии. Кроме того, возникают термические напряжения, исчерпываются упругопластические свойства материала и происходит разрушение конструкции [9].

В эксперименте, проводимом совместно с институтом океанологии РАН было установлено, что в процессах коррозии стальных образцов в морской воде значительная роль принадлежит также бактериям и подтверждено свойство эргергента защищать сталь и пластик от биообрастания [10].

Принято, что для обеззараживания воды и борьбы с биообрастанием надо использовать окислители, преимущественно хлор или гипохлорит натрия. А с электрохимической коррозией в том числе и в системах охлаждения дизелей, борются, применяя ингибиторные комплексы, которые способствуют развитию биообрастания, т.е. микробиологической коррозии, являясь к тому же достаточно токсичными. Получается, что положительные результаты по борьбе с электрохимической коррозией, усиливают микробиологическую коррозию [11].

При использовании ЭМВ в рамках единой технологии эта проблема экологично решается. Последние эксперименты на морской воде также подтвердили обеззараживающее действие энергента и уменьшении скорости коррозии в морской воде на 40% [10].

На рисунках 11 представлена динамика уменьшения скорости коррозии в тепловых сетях одного из Московских вокзалов.

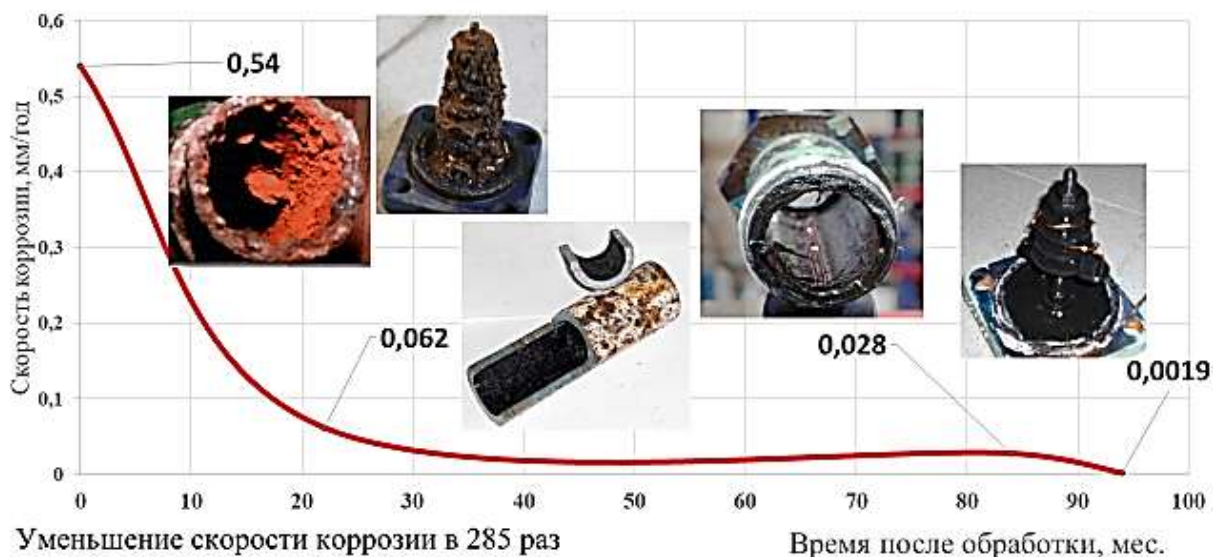


Рисунок 11 – Динамика уменьшения скорости коррозии в тепловых сетях транспортного комплекса в результате применения ЭМВ при сроке их эксплуатации порядка 9 лет

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

На рисунке 12 представлен результат по экономии теплоты в результате применения ЭМВ. Для сравнения представлены результаты перерасхода ТЭР, в случае если эти меры не проводились.



Рисунок 12 – Фактический перерасход/экономию теплоты на ремонтных предприятиях транспортного комплекса без и с применением ЭМВ

Результаты применения ЭМВ при обработке утилизационного котла AQ-12 (судно «Персей», ввод знергента через теплый ящик), представлены на рисунках 13-14.



Корабль Персей.



Котел AQ-12

теплый ящик

Место ввода суспензии ремонтного состава

Рисунок 13 – Применение ЭМВ с целью очистки котельной установки от накипно-коррозионных отложений осуществлялось без остановки оборудования в период навигации судна

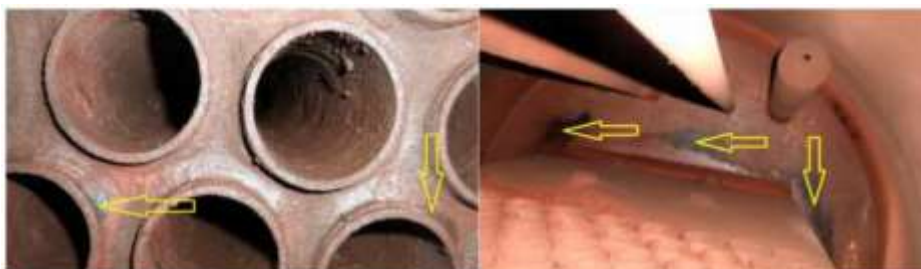


Рисунок 14 – Изменение состояния водного тракта котла судна через 12 месяцев после обработки (стрелки указывают на выходы защитной пленки)

В результате обработки скорость коррозии металла конструкций водяного тракта котла была снижена с 0,8-1,2 мм/год в 10 раз. Она стала менее допустимой (менее 0,085мм/год). Система очистилась от накипно-коррозионных отложений.

Что касается сильно изношенных трубопроводов транспортного комплекса, ранее обработанных с применением ЭМВ. В случае капитального ремонта путем вырезки и заменой изношенных труб на новые в объеме до 2/3 длины всего контура системы, энергетический потенциал оставшихся трубопроводов перенесётся на новые и дополнительного применения ЭМВ не потребуется. Этократно сокращает материальные затраты на ремонт и улучшает его качество.

Возможность использования ЭМВ при обработке сетей различной степени изношенности (новых, эксплуатируемых в течении 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 пока в береговом транспортном комплексе в рамках программы энерго-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;

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 кратко уменьшают биообрастание систем в пресной и морской воде;
- Кратно уменьшаются выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы сточных вод в канализацию;
- После обработки восстанавливается теплопередача т.е. увеличивается КПД (до паспортных значений) работы используемого оборудования;
- Результаты достигаются за счёт 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. Целесообразно рассмотреть возможность применения метода в судовых системах, энергетических установках и береговой инфраструктуре.

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.

Список литературы:

1. М.Н. Торопов «Износ – проблема общая». Технология машиностроения. 2004 №6. С. 52-60.

2. 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.

3. 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 2023 с. 26-33.

4. 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.

5. В.Т. Киселёв «Влияние емкости двойного электрического слоя на скорость коррозии на границе фаз». Технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2012 3-2 с. 56-61.

6. В.В. Болдарев, Е.Г. Аввакумов «Механохимия твёрдых неорганических веществ – Успехи химии». 1971 Т.40 с. 1835-1856.



7. 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

8. Е.П. Розанова и др. «Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов». Микробиология. 2003 т. 72 №2 с. 212-214

9. 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

10. 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, размещённых в морской воде Карского моря». Материалы XVIII международной конференции МСОИ-2023 «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023) т.1 с. 97-102

11. 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.

PROTECTION OF SHIP SYSTEMS, POWER PLANTS AND ONSHORE INFRASTRUCTURE AGAINST FOULING, CORROSION, BIOFOULING WITH A SINGLE NATURE-BASED TECHNOLOGY

Mikhail N. Toropov, Alexander S. Selivanov, Ivan Y. Perkov, Nikolai V. Vasiliev, Yuri I Matveev

Abstract. There is an "International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments" (IC BWM 2004). The work of RUT (MIIT) specialists and experiments conducted jointly with IO RAS have shown that the unified nature-like technology of energy water treatment (EMW) applied without decommissioning transport and stationary objects not only combats corrosion and scale formation without damaging structural and sealing materials, but also prevents the process of biofouling of materials, provides decontamination, reduces the volume and concentration of waste water and emissions into the environment. The article is based on data obtained for the period 2004-2023.

Keywords: biofouling, corrosion, scale formation decontamination, nature-based technology, EMV, Energent, energy efficiency

