

# НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМАХ ВОДОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*М. Н. Торопов, к. т. н., заведующий лабораторией РУТ МИИТ*

*П. П. Безунов, к. т. н., доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение» СПГУПС*

*А. С. Селиванов, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика на железнодорожном транспорте» РУТ МИИТ*

*Н. В. Васильев, инженер РУТ МИИТ*

*И. Е. Перков, старший научный сотрудник АО «ВНИИЖТ»*

*Рассмотрены физическая сущность энергетического метода водоподготовки (ЭМВ) и его характерные особенности при использовании в системах водотеплоснабжения и водоохлаждения оборудования. Исследованы зависимость получаемых результатов от качества воды в системах до обработки, процессы улучшения качества воды в системах, уменьшения электрохимической и микробиологической коррозии, а также выбросов вредных веществ в атмосферу в результате применения метода.*

## **1. Физическая сущность ЭМВ и некоторые особенности его применения в системах водотеплоснабжения**

Существует целый ряд традиционных технологий повышения энергоэффективности систем водотеплоснабжения.

Мы предлагаем новый подход к этой проблеме, основанный на других принципах, давший в течении последних шестнадцати лет положительный технико-экономический эффект на значительном количестве реальных объектов [1, 2].

Это более 1000 км тепловых и водопроводных сетей, более 200 водяных и паровых котлов, работающих в том числе и без водоподготовки, скважины, 1500 систем водотеплоснабжения, в том числе и питьевого, включая вентиляционные (калориферные) системы пассажирских вагонов внутрироссийского и международного сообщений (Москва — Париж, Москва — Ницца), системы охлаждения дизелей и промышленного оборудования, системы водотеплоснабжения зданий, морских и речных судов, оборудования, работающего на морской воде.

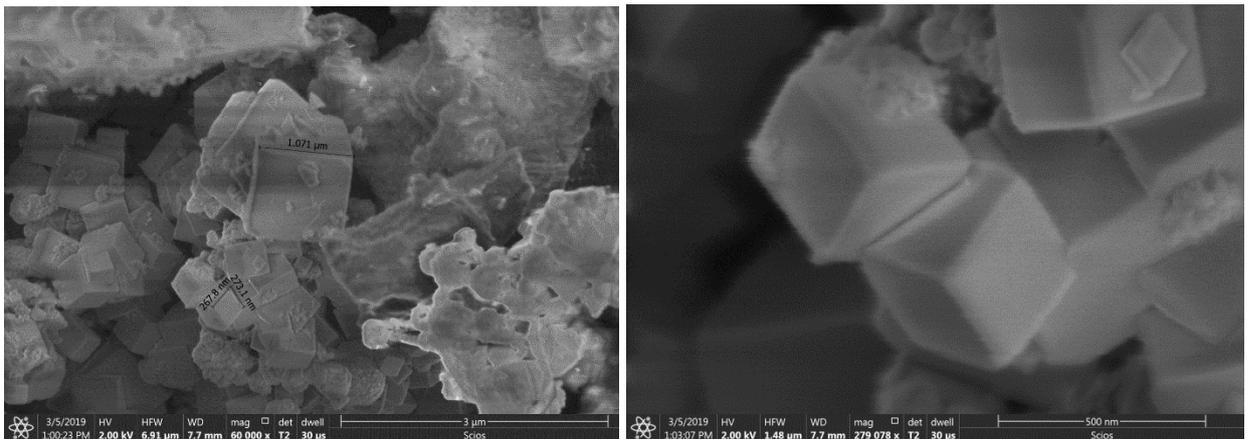
Суть метода состоит во вводе в систему одним циклом на срок до семи лет химически нейтральных составов (энергентов), разрешенных для применения в питьевой воде и прошедших активацию в зависимости от состояния объекта (водно-химический режим, коррозионность среды, ее склонность к накипеобразованию, степень износа). Следует отметить, что процесс активации энергента уникален. Мы практически научились регулировать уровень энергии, вводимой в систему.

Процесс обработки с применением ЭМВ современной импортной системы теплоснабжения представлен на рис. 1.



*Рис. 1. Введение энергента в сеть теплоснабжения*

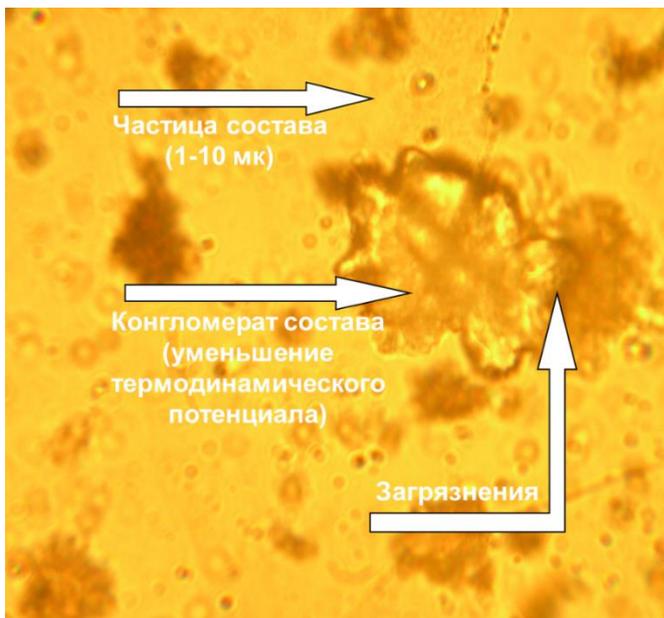
На рис. 2 представлена микроструктура энергента при значительном увеличении. Проводятся обширные исследования по изучению механизма его воздействия на водную среду и отложения. В частности, установлено, что за счет перемещения дислокаций в кристаллической решетке энергента образуется электрическое поле, которое накладывается на двойной электрический слой границ фаз (жидкость-поверхность), меняя направленность физико-химических процессов на границе раздела.



*Рис. 2. Микроструктура энергента*

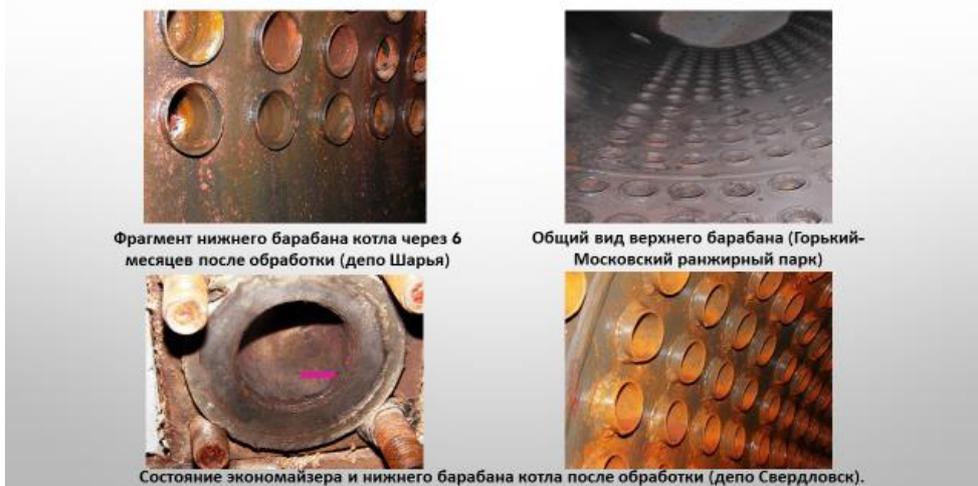
Частицы энергента размером от 1 до 10 мкм обладают к тому же магнитострикционным эффектом, вследствие чего происходит разрушение отложений.

Процесс транспортировки разрушенных отложений показан на рис. 3. В отличие от многих традиционных методов отсутствует залповый выброс разрушенных отложений. После применения ЭМВ они состоят в основном из мелкодисперсных, легкоудаляемых из системы фракций. Это позволяет не останавливать технологический процесс работы любого оборудования во время применения ЭМВ, бережно выводя разрушенные отложения из системы и соблюдая при этом экологические и санитарные требования [3].



*Рис. 3. Процесс транспортировки разрушенных отложений*

На поверхности образуется тонкая и прочная пленка, состоящая из комплексного окисла ряда металлов (рис. 4). Физико-механические свойства ее (в частности, теплопроводность, электропроводность) соответствуют таковым у основного металла. Пленку можно получить и на новом объекте. Для сравнения вид конструкций до применения ЭМВ представлен на рис. 5.



*Рис. 4. Состояние водяных трактов котельных через 6–8 месяцев после обработки энергетическим методом*



Рис. 5. Состояние внутренних поверхностей барабанов котлов и трубопроводов до ЭМВ

В результате применения ЭМВ образующейся пленкой затягиваются трещины и мелкие сквозные дефекты. Так, на рис. 6 представлена сильно изношенная поверхность чугунного калача системы теплоснабжения одного из московских вокзалов. Пленка затянула сквозные отверстия диаметром несколько миллиметров и была специально разрушена механическим путем с применением значительных усилий. На поверхности калача оказалось тринадцать сквозных отверстий, ранее затянутых прочной пленкой. Это пример ремонтпригодности метода, по существу — ремонтно-восстановительного.



Рис. 6. Возможность использования энергетического метода для обработки изношенных тепловых сетей

На рис. 7 представлена специфика образования пленки на медных сплавах. Медь хорошо стоит при кислородной коррозии, но абсолютно беззащитна при кислородно-аммиачной. Специально создана ситуация искусственной коагуляции энергента в

нескольких трубках. Голубой цвет поверхности энергента свидетельствует об очистке изделия от продуктов кислородно-аммиачной коррозии. На очищенной поверхности образуется стойкая защитная пленка.

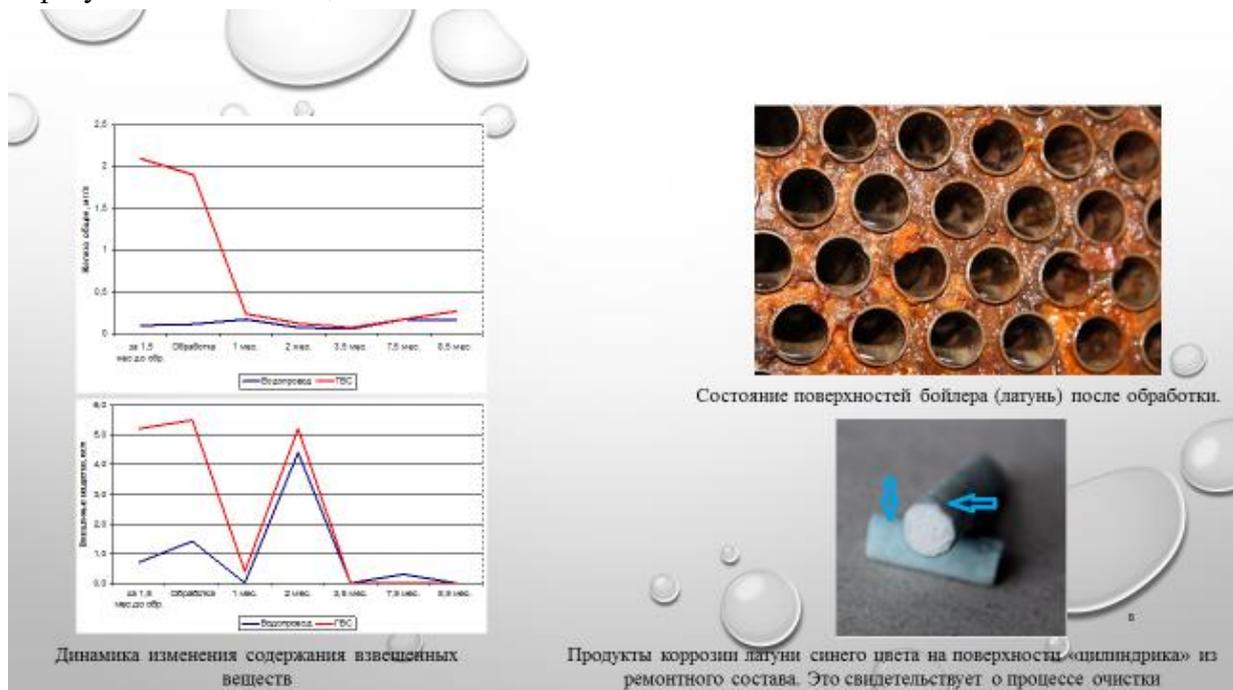


Рис. 7. Механизм очистки изделий из цветных металлов и сплавов (медь, латунь) от накипно-коррозионных отложений

Метод применим на всех видах конструкционных материалов: черные, цветные металлы и сплавы, нержавеющие стали, пластик, керамика, резина.

Образование пленки при ЭМВ происходит практически сразу под поверхностью накипно-коррозионных отложений (рис. 8). Затем удаляется рыхлый поверхностный слой, начинается удаление плотного пристеночного слоя, обнажается уже образовавшаяся защитная пленка. В отличие от пластика или другого покрытия не уменьшается проходное сечение трубы, не меняется теплопроводность. Возможно обработать и сварные стыки и стенки трубы за один прием [4].



Рис. 8. Этапность технологического процесса обработки системы с толщиной отложений более 3 мм энергетическим методом

На процесс удаления отложений и образования пленки влияет состав используемой воды. Мы работали на железнодорожных объектах практически на всей территории страны, а на вагонах — и за рубежом. Собраны данные по классам воды на указанных территориях (рис. 9).

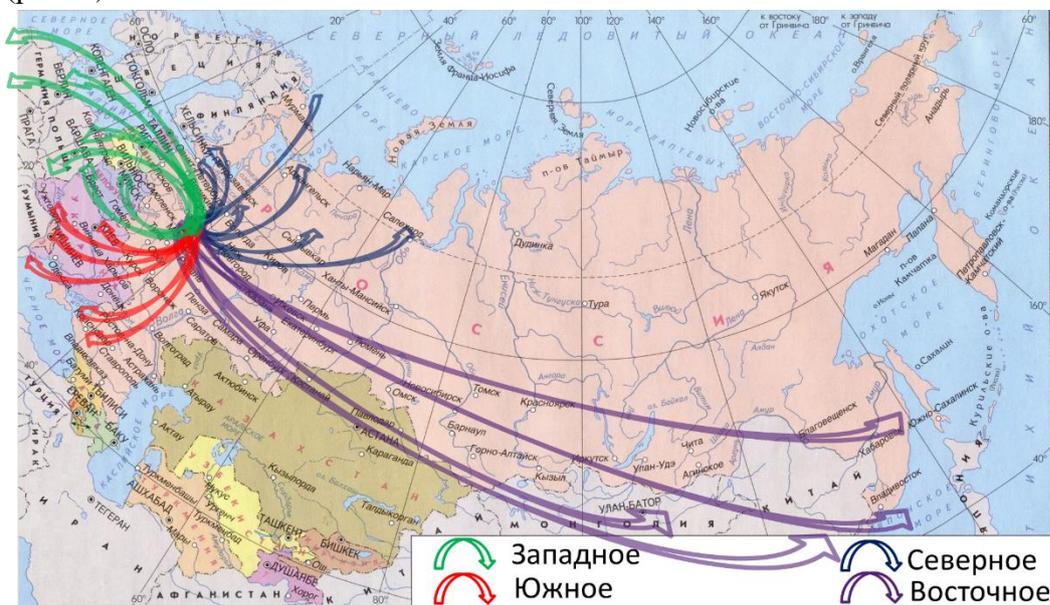


Рис. 9. Направления движения пассажирских вагонов системы водотеплоснабжения которых обрабатаны в 2004–2013 гг. ЭМВ

Кроме ремонтных объектов, мы брали воду и из систем заправки пассажирских вагонов.

Процесс обработки систем теплоснабжения вагонов «Невского экспресса» на Октябрьском ремонтном заводе показан на рис. 10. В системе не вода, а тосол. Метод работает практически на любой жидкости: воде, химрастворах, нефтепродуктах и т. д.



*Рис. 10. Использование ЭМВ при капитальном ремонте систем теплоснабжения пассажирских вагонов на ОЭВРЗ*

Как показали исследования, в России 6–7 классов воды. На некоторой воде корродирует даже нержавейка (рис. 11).



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

В качестве примера приведен процесс удаления отложений в воде кальций-гидрокарбонатного класса на котле и системе охлаждения дизеля тепловоза (рис. 12). Отложения двухслойные: слой, прилегающий к металлу, состоит в основном из ионов кальция, поверхностный слой — продукты коррозии. Кальций удаляется легко. Гораздо труднее удалить коррозионный слой.

В месяц в зависимости от класса воды при однократной обработке удаляется от 1 до 5 мм отложений, но экономический эффект начинает проявляться практически сразу после обработки. На котле, представленном на рис. 12, за год сэкономили 300 т угля (пять вагонов).

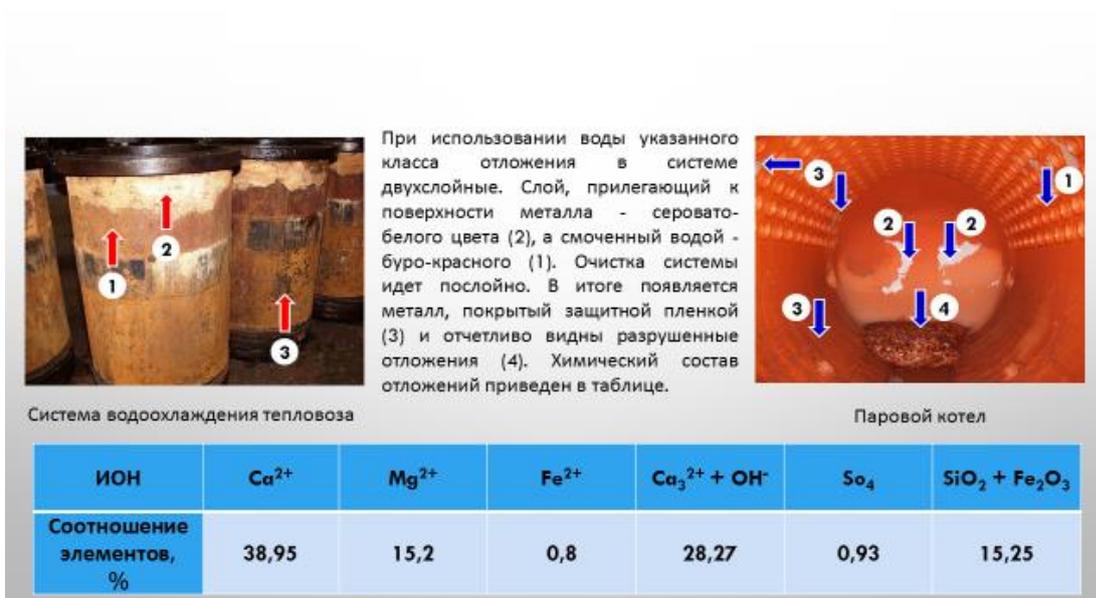


Рис. 12. Особенности очистки от отложений системы водоохлаждения тепловоза (парового котла) при использовании воды кальций-гидрокарбонатного класса

Экономия только увеличивается при дальнейшей очистке. На котлах экономится до 9–20% ТЭР, на тепловых сетях до 10–15% теплоты, 10–20% электроэнергии на транспортировку теплоносителя.

## 2. Процессы улучшения качества воды в результате применения ЭМВ

При использовании ЭМВ в рамках **одной (!)** технологии происходит то, что в традиционных может быть достигнуто при применении целой гаммы технологий. Происходит технологично, при соблюдении целостности любых конструкционных материалов и выполнении санитарных и экологических норм.

При этом наблюдается улучшение качества воды, приведение ее в соответствие с СанПиН 2.14.1074-01 как в питьевых системах, так и в отопительных и охладительных. Так, улучшилось качество воды в железнодорожном поселке (рис. 13). На рис. 14 приведено состояние водопровода вагона до и после ЭМВ.

Улучшение качества воды происходит как за счет очистки системы от вторичных загрязнений, так и за счет внутриводопроводной обработки, при которой состав экологично вводится в водоносный пласт. В системах водоохлаждения дизеля тепловоза мы уменьшили величину жесткости воды в три раза — с 3,5 до 1,2 мг-экв/л.

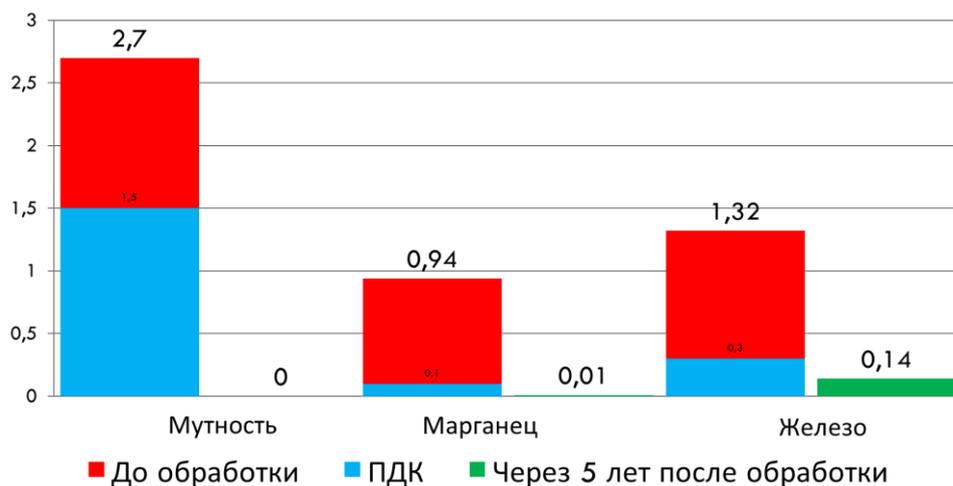


Рис. 13. Динамика улучшения качества воды в водопроводе железнодорожного поселка после ЭМВ

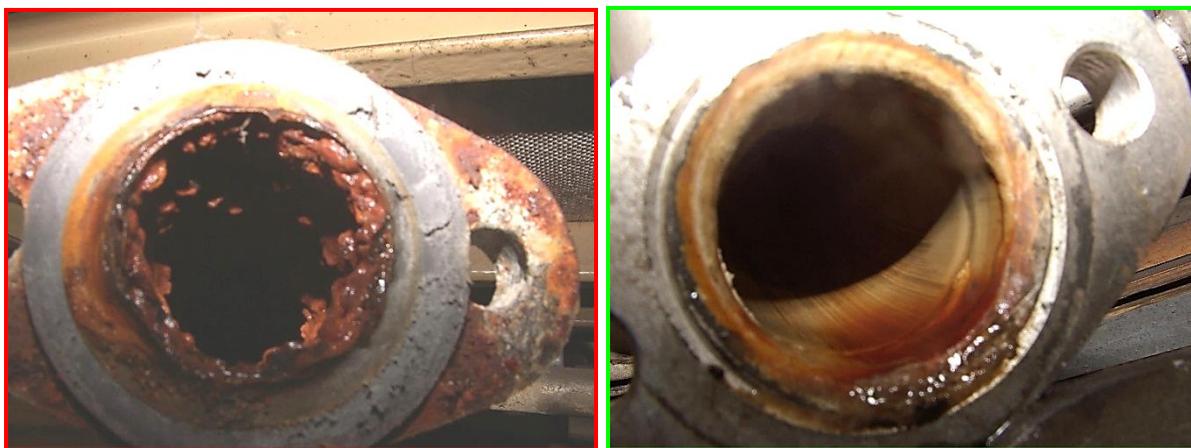


Рис. 14. Состояние системы водоснабжения пассажирского вагона до и после обработки

На рис. 15 приведена динамика уменьшения содержания железа в водопроводе пассажирского вагона после применения ЭМВ.

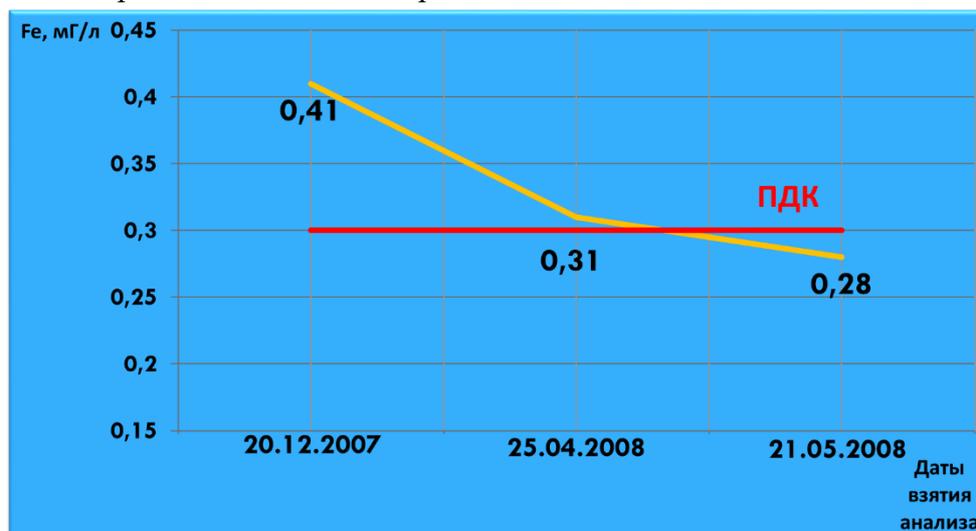


Рис. 15. Динамика изменения содержания железа в холодной воде в результате обработки

При введении энергента в водоносный пласт уменьшается процентное содержание в воде солей жесткости, железа, марганца. Так выглядит обработка водяного колодца одного

из монастырей (рис. 16). Жесткость до обработки превышала ПДК, составляя 11,7 мг-экв/л. Через полтора месяца после обработки величина жесткости воды приведена в соответствие с нормативами.



Рис. 16. Обработка с применением ЭМВ колодезной воды в православном монастыре

### 3. Снижение интенсивности процессов электрохимической и микробиологической коррозии в результате ЭМВ

Кроме улучшения качества воды, ЭМВ обеспечивает в рамках одной технологии защиту трубопроводных систем от коррозии и отложений. В водопроводных и тепловых сетях (в последних до температур 80–85 °С [5, 6]) существует как электрохимическая, так и микробиологическая коррозия, обусловленная жизнедеятельностью железистых бактерий. Микробиологическая коррозия значительно уменьшает теплоотдачу материала и создает идеальные условия для развития под бугорками биоржавчины электрохимической коррозии. Способствует также разрушению материала ввиду возникновения термических напряжений и истощению его упругопластических свойств. Электрохимическую коррозию устраняют ингибиторами, а биологическую окислителями. Но ингибиторы усиливают биологическую коррозию [7], усложняя и без того сложный механизм коррозионных процессов.

В рамках единой технологии с этой проблемой справляются наш энергент и бактерициды, коагулянты, флокулянты, разработанные Институтом элементарноорганических соединений РАН [7].

Скорость электрохимической коррозии энергент уменьшает в 40–280 раз (рис. 17). Также уменьшается биологическая коррозия (рис. 18). Причем если сравнивать два метода, то содержание остаточного железа уменьшается при применении коагулянтов на питьевой воде за пять лет в 8,3 раза (с 0,5 до 0,06 мг/л), а при применении энергента на нагретой технической воде за год в 380 раз (с 11,4 до 0,03 мг/л).

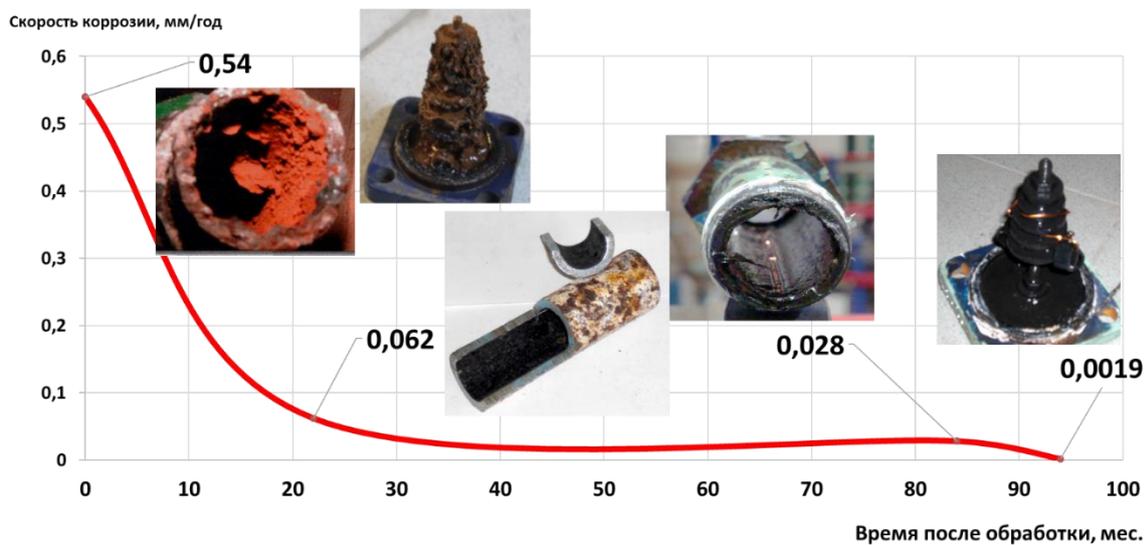


Рис. 17. Динамика изменения внешнего вида элементов тепловой сети и скорости коррозии в ней в результате применения ЭМВ (срок наблюдения 95 месяцев после обработки)

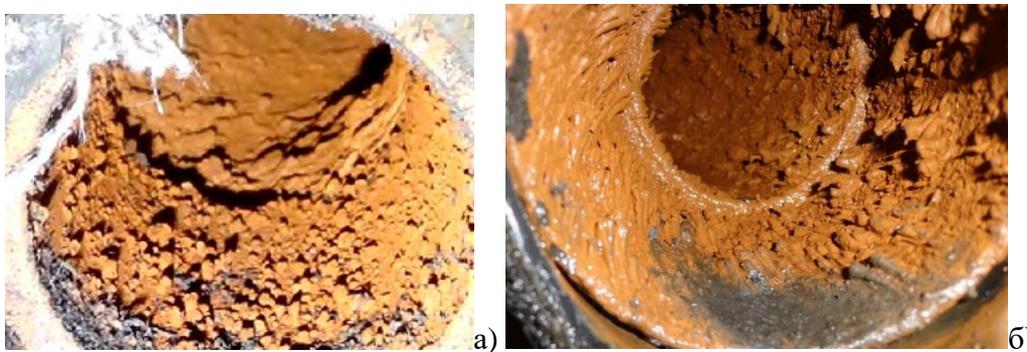


Рис. 18. Динамика изменения состояния элементов системы охлаждения дизеля тепловоза (микробиологическая коррозия) через три (а) и двенадцать (б) месяцев после ЭМВ

#### 4. Влияние ЭМВ на снижение вредных выбросов в атмосферу

В связи с утверждением государственной программы «Охрана окружающей среды на период до 2030 года» небезынтересны полученные нами результаты по уменьшению в 1,5–2,5 раза выбросов в окружающую среду после ЭМВ (табл. 1), а также результаты по выбросам, отраженные на рис. 19.

Таблица 1. Динамика изменения выбросов отходящих газов одной из мазутных котельных

Наименование измеряемых параметров	ПДВ г/с	1998 г. 06.09	1999 г. 10.08	2000 г. 18.07
Оксид углерода	1,0164	1,1215	0,832	0,5225
Диоксид углерода	0,3127	0,3268	0,3091	0,2668
Сернистый ангидрид	1,8904	2,1821	1,8806	1,7171
КПД горения %		82,8	83,4	85,2
Обработка котлов методом термодинамической активации проведена 19.03.1999 года.				

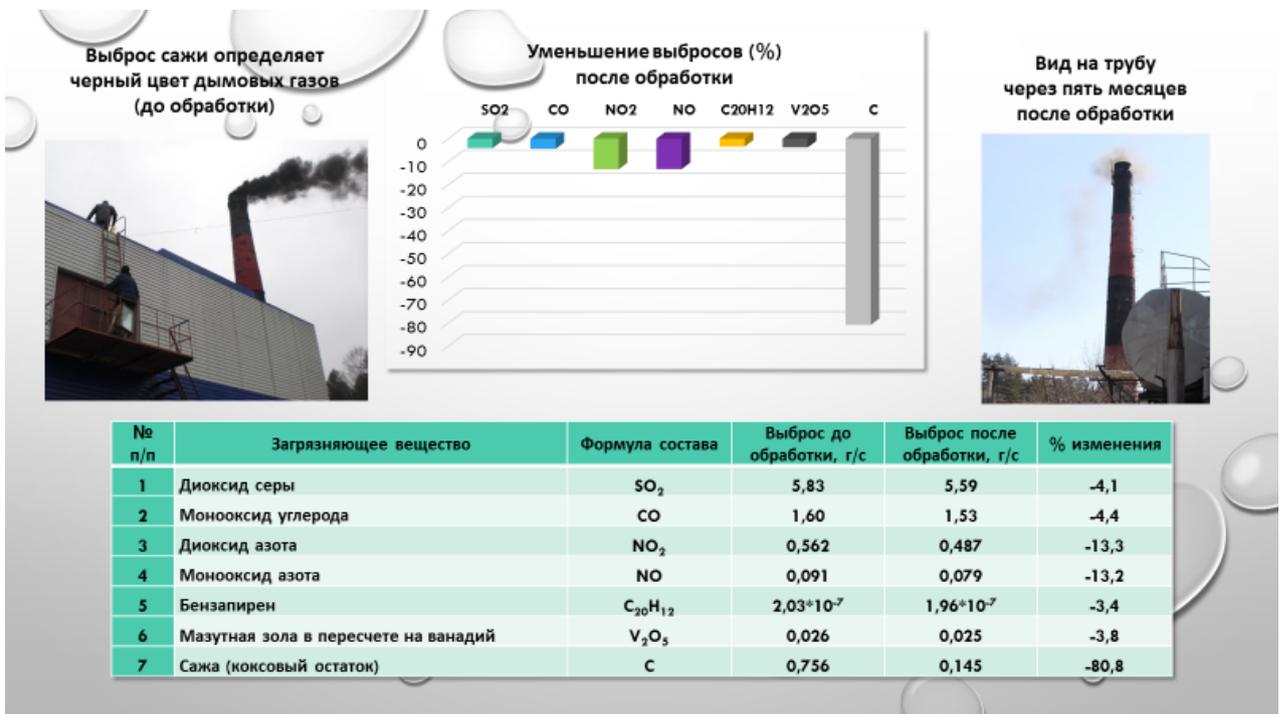


Рис. 19. Взаимосвязь обработки объекта с выбросами вредных веществ в атмосферу

О том, что происходит с качественными иностранными котлами при несоблюдении техпроцесса химводоподготовки, свидетельствует рис. 20.



Рис. 20. Состояние импортного котла при недостаточной водоподготовке

При обработке импортной котельной системы, представленной в начале статьи (рис. 1), в результате ее очистки с применением ЭМВ мы получили увеличение содержания железа в воде с 0,245 до 1,1 мг/л. Это свидетельствует о том, что в полной мере не сработала современная импортная водоподготовка.

Считаем, что было бы полезно обрабатывать ЭМВ новые котлы совместно с производителем в период запуска их в эксплуатацию. Это решит многие экологические проблемы.

В результате обработки ЭМВ котлов, работающих без химводоподготовки, мы убедились в том, что можно полностью отказаться от традиционных способов подготовки воды с ионным обменом. Это позволит исключить расход химикатов на регенерацию ионообменных фильтров и значительно уменьшить сброс сточных вод из системы.

Нельзя сбрасывать со счетов и истинную картину коррозионности и интенсивности накипеобразования в стране. Так, скорость коррозии на исследованных нами объектах превышала аварийные значения (0,2 мм/год) в 1,3–8,0 раза, интенсивность накипеобразования в 2–6 раз, при толщине отложений от 2 до 12 мм.

После замены труб обязательно должна быть проведена антикоррозионная и антиадгезионная обработка. В результате такой обработки стальных труб с применением ЭМВ можно увеличить срок их эксплуатации до 50–70 лет. Некоторые сравнительные экономические параметры приведения качества воды в надлежащее в пассажирском вагоне при ее антикоррозионной и антиадгезионной обработке традиционными методами и ЭМВ приведены в табл. 2.

Таблица 2. Некоторые статьи и причины увеличения затрат при эксплуатации и ремонте систем водоснабжения пассажирских вагонов

Статьи увеличения затрат	Причины	Затраты на традиционные методы	Затраты на энергетический метод
Низкий ресурс эксплуатации систем	Высокая коррозионная агрессивность среды. Высокие жесткость, щелочность, соленосодержание воды, в том числе и технической.	Различные методы антикоррозионной обработки. 6-70 тыс.руб/м <sup>3</sup> год	Э н е р г е т т и о ч д е с к н и й
Перерасход ТЭР	Низкая теплопередача поверхностей конструкций. Высокая интенсивность накипеобразования технической воды.	Целая гамма технологий временного устранения отложений. 6-70 тыс.руб/м <sup>3</sup> год	
Низкое качество воды (содержание железа, взвесей и т.д.)	Смещение воды из разных пунктов экипировки и ее вторичное загрязнение	Водоподготовка в пунктах экипировки водой. При ее средней стоимости 100 руб/м <sup>3</sup> и потреблении в воды 830 м <sup>3</sup> /год*вагон – 83 тыс.руб./вагон	
Итого затрат, тыс.руб.		119-503	30 (на 5-7 лет)

Ну и, наконец, последнее. Мы считаем, что следует подумать об использовании столь эффективной технологии и в Санкт-Петербурге. Ну, например, Ленинградская область является лидером в РФ по показателям ввода жилья на одного жителя (2,5 млн м<sup>2</sup>/год). Считаем, что экономически целесообразно обрабатывать новые системы водотеплоснабжения с применением ЭМВ. Это позволиткратно уменьшить коррозионность и интенсивность накипеобразования водной среды и таким образом значительно увеличить ресурс эксплуатации систем при минимально возможных затратах.

На рис. 21 приведен пример обработки с применением ЭМВ жилого фонда в Москве.

Кроме имеющихся в нашем распоряжении базовых составов, мы продолжаем разработку новых, более эффективных. Причем считаем, что для удешевления составов их следует производить из местного сырья, в частности, и в Ленинградской области, а это потребует общих усилий.

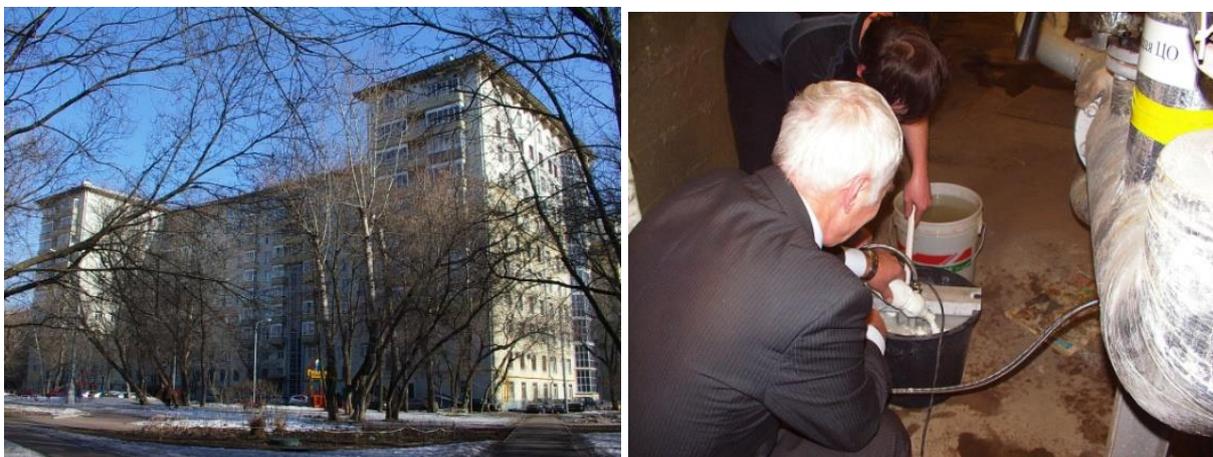


Рис. 21. Обработка ЭМВ системы отопления и ГВС 11-этажного жилого дома в Москве

## Заключение

1. Разработана новая природоподобная технология повышения энергоэффективности систем водотеплоснабжения, давшая положительный технико-экономический результат на значительном количестве реальных объектов.
2. Обработка происходит без прерывания технологического процесса водотеплоснабжения при любых материалах трубопроводов и теплоносителях.
3. Источником средств для более широкого применения технологии может явиться экономия до 9–20% ТЭР, 10–20% электроэнергии, затраченной на транспортировку

теплоносителя, 10–15% теплоты, а также продление ресурса стальных трубопроводов до 50–70 лет.

4. Об экологичности технологии говорят уменьшение в 1,5–2,5 раза газовых выбросов в атмосферу, возможность систем работать без использования солей и сильных кислот на регенерацию ионообменных фильтров и уменьшение сбросов сточных вод из системы.

### **Литература**

1. Торопов М. Н., Перков И. Е., Бегунов П. П. Энергоэффективная экологическая технология повышения надежности и ресурса систем водотеплоснабжения. Инженерные системы — АВОК Северо-Запад, 1/2019 г.
2. Торопов М. Н., Бегунов П. П., Васильев Н. В., Селиванов А. С., Перков И. Е. Продление ресурса эксплуатации и повышение энергоэффективности систем водотеплоснабжения и водоохлаждения. Инженерные системы — АВОК Северо-Запад, 1/2020 г.
3. Торопов М. Н. Комплексный подход к приведению качества питьевой и технической воды в соответствие санитарно-экологическим требованиям. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 7/2006 г.
4. Продоус О. А., Иващенко В. В. Гидравлический потенциал стальных и чугунных металлополимерных труб для систем водоснабжения. Инженерные системы — АВОК Северо-Запад, 3/2019 г.
5. Розанова Е. П., Ентальцева Л. А. Распространение сульфатовосстанавливающих бактерий в трубопроводах тепловой сети и причины появления в воде сероводорода. Микробиология 1999, том 68, № 1.
6. Розанова Е. П., Дубинина Г. А. и др. Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов. Микробиология 2003, том 72, № 2.
7. Воинцева И. И., Новиков М. Т., Продоус О. А. Продление периода эксплуатации систем водотеплоснабжения из стальных и чугунных труб. Инженерные системы — АВОК Северо-Запад, 1/2019.