

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВОДОПОДГОТОВКИ (ЭМВ) — ПУТЬ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В СИСТЕМАХ ВОДОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

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

А. С. Селиванов, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Российского университета транспорта (РУТ МИИТ)

Л. А. Воронова, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Российского университета транспорта (РУТ МИИТ)

И. Е. Перков, технический эксперт АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

Статья является продолжением статьи «Взаимосвязь качества воды с экологичностью, безопасностью и энергоэффективностью при использовании энергетического метода водоподготовки в системах водотеплоснабжения», опубликованной в журнале «Инженерные системы» № 2-2022. Проанализированы результаты применения новой технологии в транспортном комплексе (ремонтные предприятия, подвижной состав).

На основе изучения ряда опубликованных фундаментальных исследований [1–4], а также на базе широких экспериментальных и внедренческих работ, проводимых в реальных условиях на транспортном комплексе (МПС СССР, АО «РЖД», Минтранс) (табл. 1 [7]), разработана новая технология ремонта систем водотеплоснабжения отрасли [8].

Таблица 1. Общая характеристика систем водотеплоснабжения и водоохлаждения технологического оборудования в структурных подразделениях МПС СССР

| Потребитель | Характеристики | | | | | |
|--|----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|---|
| | количество, ед. | протяженность сетей, км | потребление топлива в год | | | выбросы в атм., $10^3 \times \text{м}^3/\text{год}$ |
| | | | уголь, млн т | мазут, дизельное топливо, млн т | газ, млрд м ³ | |
| Котельные | 7000 (14 000 котлов) | - | 5,0 | 1,0 | 1,0 | 370 |
| Тепловые сети | - | 2500 | | | | |
| Водопроводные сети | - | 13000 | | | | |
| Пассажирские вагоны | 25000 | порядка 6000 | | | | |
| Спецвагоны | 8000 | порядка 1500 | | | | |
| Тепловозы (системы охлаждения) | более 10 000 | более 500 | | 3,0 | | 175 |
| Ремонтные заводы: кислородные, компрессорные станции; технологическое, | 89 | порядка 1000 | | | | |

| | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------|--|--|--|-----|
| металлургическое оборудование | | | | | | |
| Итого: | | 24 500 | | | | 545 |

Как следует из табл. 1, система водотеплоснабжения и водоохлаждения МПС СССР состояла из 14 000 котлов, 24 500 км сетей и прочего оборудования.

Свои проблемы. Свои задачи. Обращают внимание колоссальные выбросы вредных веществ в атмосферу, огромные объемы потребляемых ТЭР.

Для решения поставленных отраслью задач, по существу, на практике были разработаны и внедрены в серийном объеме методы ускорения химических процессов в твердой и жидкой фазе, способствующие воссозданию нормативного ВХР в системе, при использовании измельченных и механически активированных веществ.

Известно [2], что физико-химические свойства кристаллов определяются и наличием в них дефектов, их природой и концентрацией. При этом часть механической энергии, подводимой к твердому телу во время активации, усваивается им в виде новой поверхности линейных и точечных дефектов [2].

В результате создается дополнительное электрическое поле, накладываемое на двойной электрический слой на границе фаз (металл-жидкость) [5–6]. Это дает возможность менять и скорость физико-химических процессов в этом месте. На поверхности, контактирующей с водой, создается тонкая стойкая оксидная защитная пленка. Кратно снижается скорость коррозионных процессов, устраняется вторичное загрязнение, улучшается качество воды.

Такая технология была разработана учеными-железнодорожниками с применением экологически чистых природных материалов, разрешенных Роспотребнадзором для водоподготовки питьевой воды. Мы их назвали энергентами, а технологию — энергетический метод водоподготовки. Суть технологии — во введении в действующую систему размельченных и активированных в зависимости от ее состояния (параметров ВХР, коррозионности среды, интенсивности накипеобразования, износа конструкций) энергентов (рис. 1).

Обработка однократная на срок 5–7 лет без остановки системы. Для обеспечения безнакипного режима в течение всего срока эксплуатации возможны и промежуточные обработки.

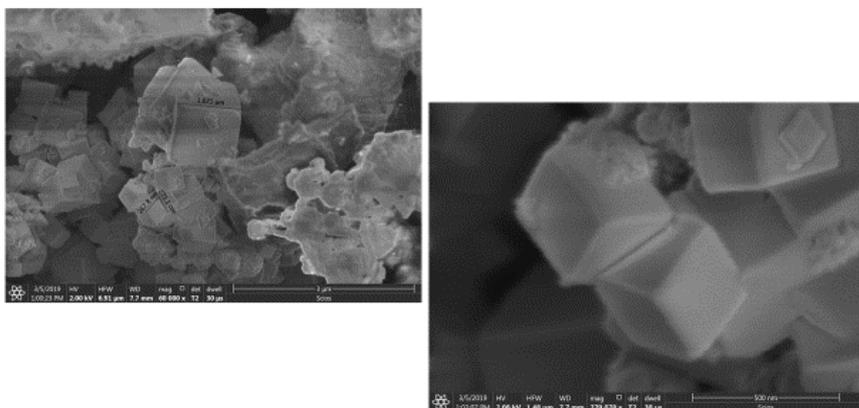


Рис. 1. Структура энергента под электронным микроскопом

Разработанная технология, в отличие от традиционных, является природоподобной, экологичной и энергоэффективной [7]. Вид конструкций до и после применения ЭМВ представлен на рис. 2.



Рис. 2. Результаты применения ЭМВ на паровом котле

В результате устранения причин вторичного загрязнения качество воды в системах приводится в соответствие с требованиями СанПиН (содержание железа, взвесей, жесткость и т. д.), кратно уменьшаются скорость коррозии и интенсивность накипеобразования. Появляется возможность в рамках единой технологии справляться с электрохимической, микробиологической, межкристаллитной коррозией, в том числе нержавеющей стали.

Выбросы котельных в атмосферу уменьшаются в 1,5–2,5 раза. И если отказаться при этом от щелочей и сильных кислот для регенерации ионообменных фильтров, возможно кратно снизить объем сточных вод. Была возможность проверить это предположение на системах, работающих без водоподготовки. Таких в стране порядка 40% от общего количества.

На рис. 3 представлен внешний вид сточных вод из трубопроводов пассажирского вагона при использовании химической очистки и ЭМВ. При этом отмечено, что при химической очистке в сточных водах наблюдается значительное превышение ПДК по ряду элементов.



Рис. 3. Внешний вид сточных вод из трубопроводов пассажирского вагона при использовании химочистки и ЭМВ

Обработано более 1000 км тепловых сетей, водопроводов, более 200 паровых и водогрейных котлов, систем водотеплоснабжения и калориферных ветвей 1500 пассажирских вагонов отечественного производства и фирмы Siemens, работающих как на воде, так и на низкозамерзающих жидкостях (рис. 4).



Рис. 4. Поточная обработка систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов в эксплуатационном депо

Кроме этого, обработаны системы охлаждения дизелей тепловозов (рис. 5) [8], системы отопления судов (рис. 6) [9], объекты ЖКХ (рис. 7) [10].



Рис. 5. Состояние втулок цилиндров тепловоза 2М62У № 0083 до и после обработки ЭМВ и года эксплуатации

Обработка ЭМВ водяного тракта корабля Персей №8214396 (26.05.2014 года)



Рис. 6. Обработка водяного тракта котельной корабля «Персей» № 821439

Скорость коррозии в водяном тракте котельной была уменьшена более, чем в десять раз.



Рис. 7. Обработка ЭМВ системы отопления и ГВС 11-этажного жилого дома в Москве

В результате применения ЭМВ в системе отопления жилого дома изменилась динамика содержания железа и взвесей в рециркулирующем трубопроводе системы в сторону их уменьшения. Характер полученной кривой (рис. 8) свидетельствует о полной очистке системы теплоснабжения дома от накипно-коррозионных отложений в результате применения ЭМВ

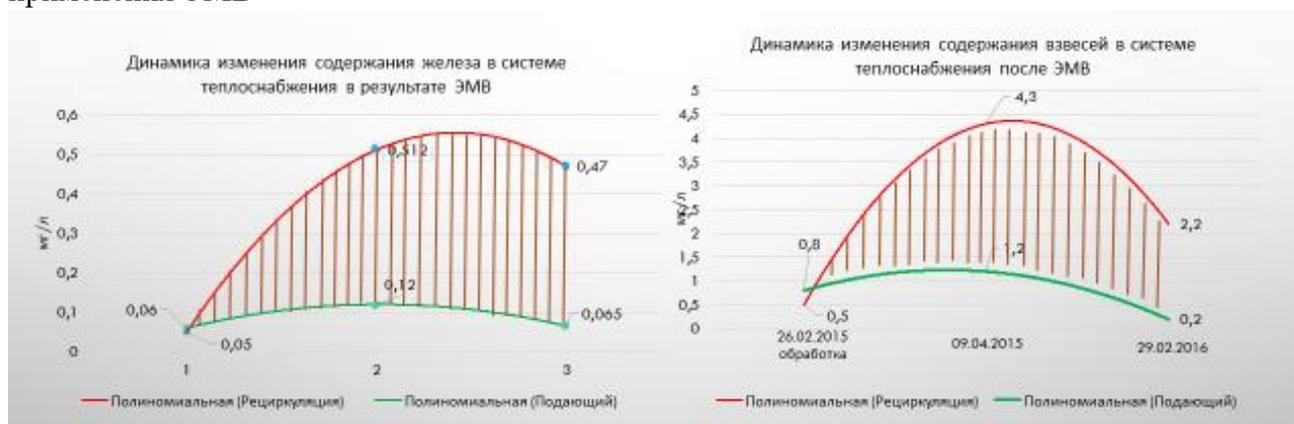


Рис. 8. Динамика изменения содержания железа и взвесей в системе отопления жилого дома в результате применения ЭМВ

Процесс очистки осуществляется экологично, без нарушения целостности конструкций трубопроводов и водяных счетчиков.

В этом заключается принципиальное основное отличие ЭМВ от химической очистки. Даже добавление ингибиторов в кислотные моющие жидкости при интенсивном их разбавлении не спасают системы от коррозии в процессе применения моющих средств (рис. 9).

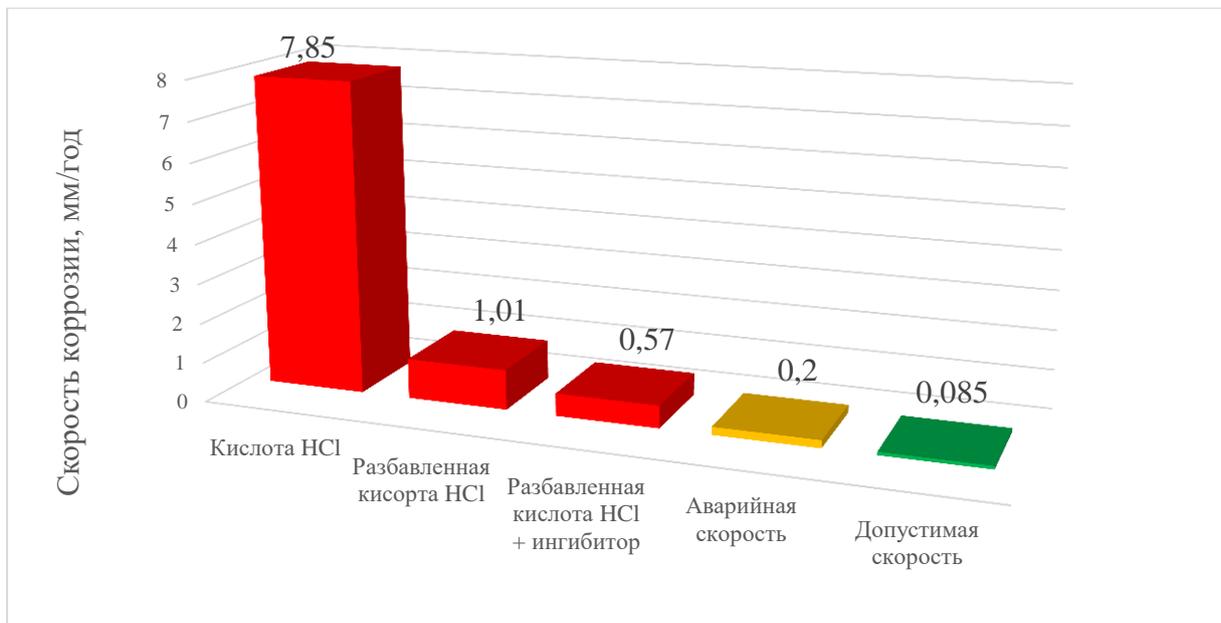


Рис. 9. Сравнительная оценка скоростей коррозии (мм/год), определяемых нормативными значениями (позиции 4–5) и при использовании кислотных жидкостей (позиции 1–3)

Скорость коррозии в результате уменьшают в четырнадцать раз. Но полученные значения этой характеристики почти в 2,8 раза больше аварийных значений.

В качестве примера мы также приводим обработку ЭМВ [9] теплого пола протяженностью более 3 км из металлопластиковых трубок диаметром 12 мм в одном из подмосковных монастырей. После четырнадцати лет его эксплуатации удалось экологично восстановить в полной мере его проходимость и работоспособность, что никому до нас не удавалось.

К перечисленному следует добавить обработанные ЭМВ системы охлаждения промышленного оборудования, горячие цеха, кислородные и компрессорные станции, холодильные установки, электропечи и т. д. (рис. 10–11) [7, 13].

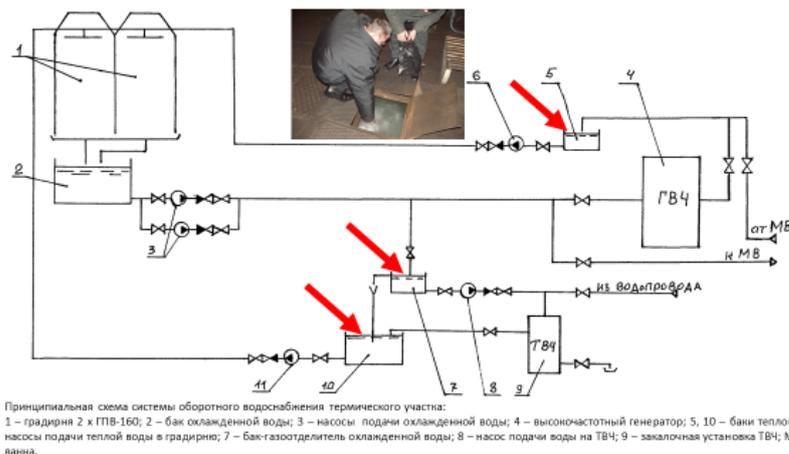


Рис. 10. Обработка ЭМВ системы оборотного водоснабжения термического участка



Рис. 11. Состояние поверхности баков охлаждения закалочной установки ТВЧ до и после применения ЭМВ

На стадии внедрения применение метода для уменьшения скорости коррозии затопленных в морской или пресной воде объектов [12].

На рис. 4 приведена процедура обработки систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов с применением ЭМВ в условиях эксплуатационного депо. Продолжительность обработки вагона 25–30 минут.

Одновременно обрабатывается 3–4 вагона. Причем в результате поточной обработки в условиях эксплуатационного депо выполняются операции депоовского и капитального ремонтов системы водотеплоснабжения пассажирских вагонов (более двадцати операций).

На рис. 12 представлен внешний вид котлов, трубопроводов, ТЭНов системы теплоснабжения пассажирского вагона до и после применения ЭМВ.



Рис. 12. Внешний вид котлов, ТЭНов, трубопроводов отопления до и после ЭМВ

Динамика изменения содержания железа, взвесей, соотношение раствора и взвесей в магистрали, титане и водопроводе вагона приведены на рис. 13.

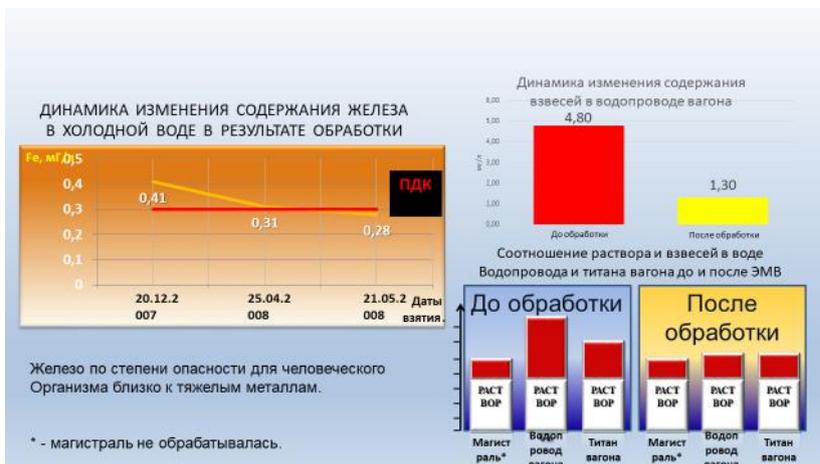


Рис. 13. Улучшение качества воды в водопроводе вагона

Четко видно приведение этих параметров в соответствие нормативам. На рис. 14 приведена динамика уменьшения скорости коррозии в тепловых сетях одного из московских вокзалов в течение девяти лет после обработки ЭМВ. С 0,54 мм/год в течение двух лет она уменьшилась до 0,062 м/год, трех лет — 0,028 мм/год, 8 лет — 0,0019 мм/год.

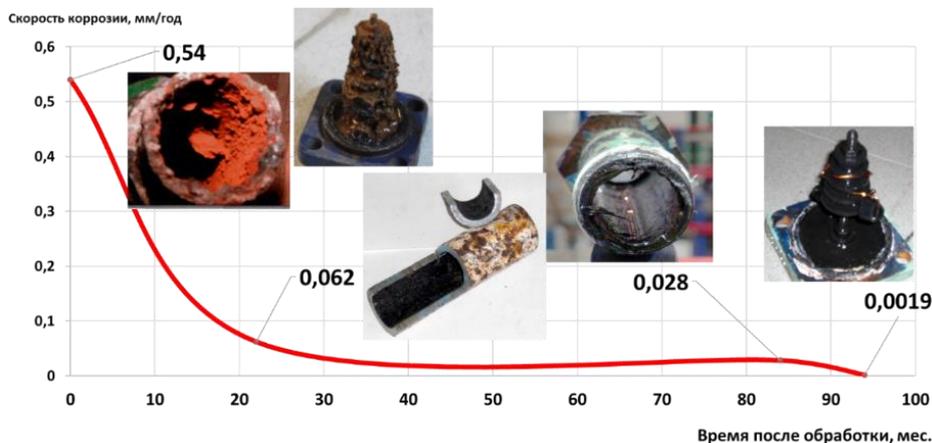


Рис. 14. Динамика изменения внешнего вида элементов тепловой сети и скорости коррозии в ней в результате применения ЭМВ (срок наблюдения 95 месяцев после обработки)

Скорость коррозии в данном случае уменьшилась в 285 раз. При полученных скоростях коррозии срок эксплуатации стальных трубопроводов может быть увеличен, по крайней мере, до 50–70 лет [10].

К тому же, если говорить о коррозионности водной среды, то самые высокие отмеченные нами ее значения наблюдались в Москве. К примеру, скорость коррозии на Рижском вокзале составила 2,22 мм/год. В результате обработки с применением ЭМВ она была снижена более чем в 40 раз (рис. 15).

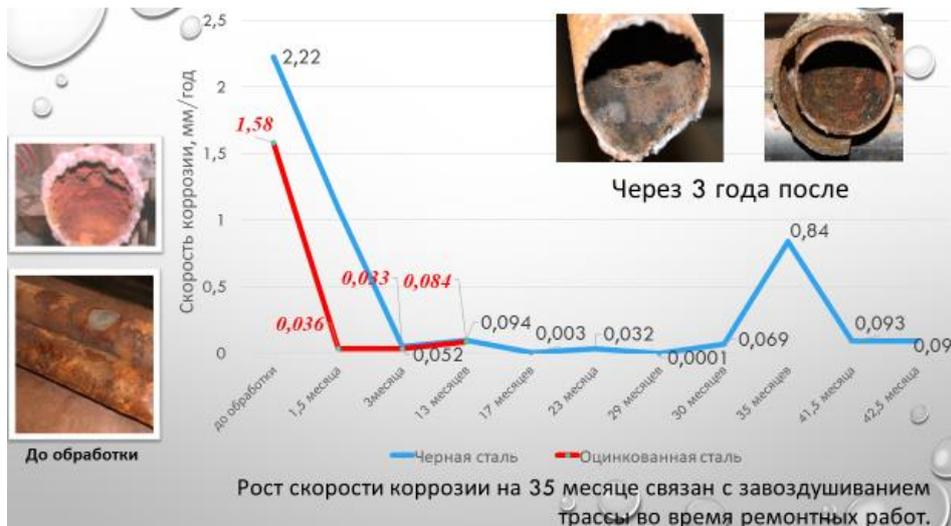


Рис. 15. Динамика изменения скорости коррозии и внешнего вида трубопроводов после ЭМВ и их эксплуатации

Интересен сам факт появления такой высокой агрессивности водной среды. Этому способствовала высокая насыщенность водой почв в Москве (190 рек, речушек и ручьев). До 40-х годов прошлого века в паводки вода поднималась в городе до 9 метров, в три раза выше, чем в Петербурге во время известных наводнений. К тому же — двенадцать тектонических разломов на территории города [11].

При такой высокой агрессивности водной среды в одном из вагонных депо ежегодно меняли до 200 м трубопровода. После применения ЭМВ эти затраты уменьшились до 1–2 метров.

На рис. 16 показано устранение микробиологической коррозии в водопроводе вагона. Это сопровождается кратным уменьшением в воде содержания железа. Здесь же представлены результаты улучшения качества воды в железнодорожном поселке. Содержание железа в воде уменьшилось с 1,32 мг/л до 0,14 мг/л, марганца — с 0,94 мг/л до 0,01 мг/л.

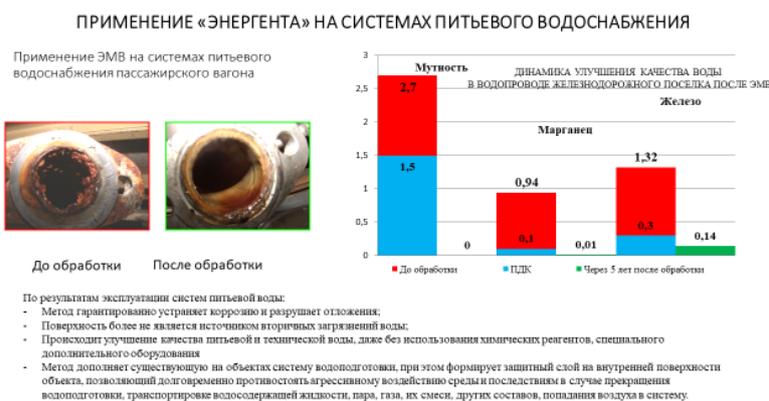


Рис. 16. Применение ЭМВ на системах питьевого водоснабжения

В одном из вагонных депо содержание железа в воде, подаваемой водоканалом, было выше ПДК (0,45 мг/л). В сетях же депо, обработанных с применением ЭМВ, его содержание в воде 0,21 мг/л при ПДК = 0,3 мг/л.

Интересен и тот факт, что в начальный период после обработки котлов при высоком содержании шламов в котловой воде (до 150 мг/л) последние не липли к металлу.

На рис. 17 приведены данные по экономии теплоты в результате применения ЭМВ. Такой результат достигнут на ремонтных предприятиях Сыктывкара, Пензы, Ульяновска, где системы обрабатывались с применением ЭМВ.

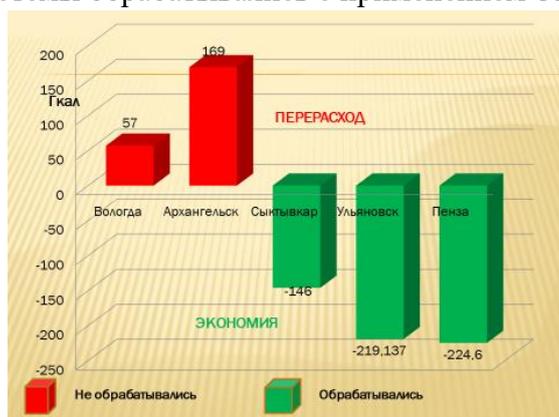


Рис. 17. Фактический перерасход (экономия) теплоты на ремонтных предприятиях за сравнимые промежутки времени без и с применением энергетического метода

Для сравнения приведен перерасход теплоты в необработанных системах (Вологда, Архангельск). При этом зимняя температура воздуха на всех объектах была сопоставима по величине. Самая низкая наблюдалась в Сыктывкаре.

Причем удается улучшить состояние воды и оборудования даже в случае использования в системах крайне сложной в технологическом плане воды гидрокарбонатнокальциевого класса с повышенной жесткостью и щелочностью, находящейся в псевдоустойчивом состоянии (рис. 18).

Состояние оборудования и воды до и после ЭМВ



Рис. 18. Состояние оборудования и воды до и после ЭМВ

На рис. 19 приведена взаимосвязь обработки объекта с выбросами вредных веществ в атмосферу.

Взаимосвязь обработки объекта с выбросами вредных веществ в атмосферу

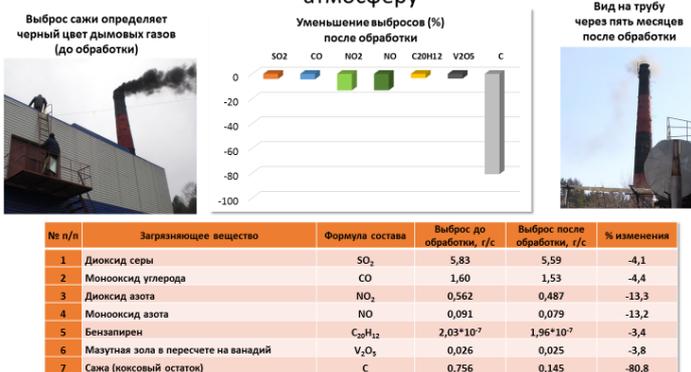


Рис. 19. Взаимосвязь обработки объекта с выбросами вредных веществ в атмосферу

Это далеко не полный перечень полученных результатов.

Во всех случаях применения ЭМВ было отмечено, что в результате обработки не происходит разрушения любых конструкционных материалов (металл, пластик, керамика, резина и т. д.).

ВХР в системах приводится в соответствие нормативным документам, а качество воды — требованиям санитарных норм. Это способствует кратному уменьшению коррозионности среды и интенсивности ее накипеобразования.

Что касается сильно изношенных конструкций систем, следует иметь в виду следующее:

- 2/3 сетей (изношенных) после ЭМВ можно заменить;
- при этом энергетический потенциал оставшихся в системе обработанных трубопроводов перенесется на замененные, и дополнительного применения ЭМВ не потребуется.

Проведены сравнительные испытания ряда современных импортных средств и ЭМВ на тепловых сетях московских вокзалов (рис. 20). Результат налицо.



Рис. 20. Сравнительные испытания современного импортного устройства «Вулкан 500» (Германия) и ЭМВ на тепловых сетях ОАО «РЖД» (2014–2015 гг.)

На трех международных выставках в области водоподготовки («Экватек 2006», «Экватек 2008», «Мир чистой воды») разработка отмечена дипломами и золотой медалью.

Заключение

1. На основе изучения фундаментальных исследований отечественных и зарубежных ученых и на базе экспериментальных внедренческих работ в транспортном комплексе разработана и внедрена новая технология ремонта систем водотеплоснабжения ремонтных предприятий и подвижного состава.
2. Метод применим для всех видов конструкционных материалов, всех видов жидкости, новых сетей, эксплуатируемых длительное время, в том числе и изношенных.
3. Качество воды после ЭМВ улучшается, приходя в соответствие нормативным документам.
4. В рамках единой технологии уменьшается электрохимическая, микробиологическая, внутрикристаллическая коррозия, в том числе и нержавеющей сталей [14].
5. Уменьшается на 20–30% расход ТЭР, на 15–20% расход электроэнергии на транспортировку жидкости, на 10–15% расход теплоты. Ресурс стальных трубопроводов увеличивается, по крайней мере, до 50–70 лет.
6. В 1,5–2,5 раза уменьшается выброс вредных веществ в атмосферу, объем сточных вод. Возможна работа без использования солей, сильных кислот на регенерацию ионообменных фильтров.
7. Как показал опыт, экономический эффект от внедрения метода может составить не менее 3,5 рубля на 1 рубль единовременных затрат.
8. Использование ЭМВ в децентрализованных системах теплоснабжения может значительно повысить их надежность, экологичность и энергоэффективность.

Литература

1. Болдырев В. В., Аввакумов Е. Г. Механохимия твердых неорганических веществ. Успехи химии. 1971, т. 40.
2. Е. Г. Аввакумов. Механические методы активации химических процессов. Издательство «Наука» Сибирское отделение АН СССР. 486.
3. Федоров В. В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел. Ташкент. ФАП, 1979. 156 с.
4. Гегузин Я. Е. Диффузная зона. Наука. 1979, с. 344.
5. Я. В. Безрукова, В. И. Донской и др. Особенности процессов релаксации электрических зарядов в гидратированных силикатах. Технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 3-2. 2012.
6. В. Т. Киселев. Влияние емкости двойного электрического слоя на скорость коррозии на границе фаз. Технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 3-2. 2012.
7. Торопов М. Н., Селиванов А. С., Васильев Н. В., Перков И. Е. Отечественная природоподобная ресурсосберегающая технология повышения энергоэффективности систем водотеплоснабжения и водоохлаждения. Промышленный транспорт XXI век. 2020, № 1–4.
8. Торопов М. Н., Васильев Н. В., Селиванов А. С. Энергетический метод водоподготовки (ЭМВ) для повышения надежности и ресурса систем водоохлаждения дизелей тепловозов. Промышленный транспорт XXI век. 2019, № 3–4.
9. 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.
10. Торопов М. Н., Бегунов П. П., Селиванов А. С., Васильев Н. В., Перков И. Е. Некоторые технико-экономические аспекты применения ЭМВ в системах теплоснабжения. **Инженерные системы. АВОК — Северо-Запад**. 2021, № 1.

11. И. Давиденко, Я. Кеслер. Ресурсы цивилизации. Эксмо. 2004, с. 526.
12. Васильев Н. В., Торопов М. Н., Селиванов А. С. Проверка метода снижения скорости коррозии в морской и пресной воде в застойных зонах затопленных конструкций. Тезисы международной научно-практической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». ИО РАН, 2021.
13. Торопов М. Н. Комплексный подход к улучшению качества питьевой и технической воды и повышения ресурса эксплуатации оборудования и трубопроводов. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Мир чистой воды. Технологии и оборудование». 2007, с. 88–92.
14. 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 и техника транспорта. 2002, № 1.