

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ВОДОПОДГОТОВКИ (ЭМВ) НА ПЛАСТИКОВЫХ И МЕТАЛЛОПЛАСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

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

Н. В. Васильев, инженер РУТ МИИТ

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

*В статье рассмотрены особенности применения ЭМВ для пластиковых и металлопластиковых трубопроводов. Обращено внимание на наличие биообрастания и микробиологической коррозии в системах теплоснабжения, особенно в случаях применения низкотемпературных жидкостей. В качестве примера рассмотрена обработка ЭМВ системы теплого пола одного из православных монастырей протяженностью порядка 3000 м, состоящей из девяти трубопроводов диаметром 12 мм с покрытием из полипропилена. Низкотемпературная жидкость Dixis-30 на момент начала работ содержала в своем составе 240 мг/л взвесей. Перепад температур между прямой и обратной ветвями системы до обработки составлял 28–29 °С. Вышеперечисленное состояние системы проявилось, несмотря на усилия персонала по обеспечению теплоснабжения монастыря надлежащего качества.*

### 1. Сущность и применение ЭМВ на практике

Пластик, по мнению японских инженеров, имеющих большой опыт по его применению, в 3,0–3,5 раза дороже стали [1]. Стоимость оценивается соотношением стоимости одного килограмма материала к величине его удельной прочности. Характерный вид разрушений пластмассовых конструкций приведен на рис. 1.



*Рис. 1. Образование «отдулин» (указано стрелкой) на поверхности трубопроводов после двух лет эксплуатации. В этом месте произойдет разрушение конструкции*

Некоторые сравнительные характеристики трубопроводов из черных металлов и пластиков представлены в табл. 1.

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

Параметры Материал	Отношение стоимости 1 кг материала к его удельной прочности [1], йены	Интенсивность биообрастаний [2], мг/см <sup>2</sup> /100 час	Стойкость материала к хлорированию	Экологическая безопасность материала
Черный металл	0,9	40±3,0	Стоек	Инертен
Пластмасса	3,5	25±5,0	Нестоек	Выделяет вредные вещества

Обращает на себя внимание довольно высокая интенсивность биообрастания пластика [2]. Работая с пластмассовыми конструкциями, мы столкнулись и с биокоррозией, когда вследствие жизнедеятельности бактерий в теплоносителе резко увеличивается содержание взвесей, в том числе и железа. Следы биокоррозии и биообрастания в пластиковых трубопроводах, в отличие от металлических, обнаружены нами мигрирующими вместе с транспортирующей жидкостью (рис. 2–3). Особенно часто этот процесс происходит при использовании в трубопроводах низкозамерзающих жидкостей (антифризов).

Биокоррозия в пластиковых (металлопластиковых) трубопроводах проявляется в виде мигрирующих частиц окислов железа ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), вырабатываемых железопродуцирующими (железовосстанавливающими) бактериями и покрытых биопленкой. Эти образования выявлены в результате обработки системы с применением ЭМВ. При использовании энергента активируются окислительно-восстановительные процессы и осуществляется следующая цепочка реакций:  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ . Частицы образовавшегося магнетита коагулируют, что и представлено на рис. 3.



*Рис. 2. Биообрастание трубопроводов из металлопласта (покрытие полипропилен) при использовании низкозамерзающей жидкости*



Рис. 3. Вид образовавшегося в результате микробиологической коррозии и ЭМВ скоагулировавшегося магнетита в металлопласте и низкозамерзающем теплоносителе

О том, что бактерии жизнеспособны до температур 80–85 °С, свидетельствуют работы специалистов Института микробиологии РАН [3–4]. Исходя из этих результатов, можно констатировать, что они заведомо присутствуют и в тепловых сетях, в том числе в пластиковых и металлопластовых трубопроводах.

В трех вышедших в свет номерах журнала «Инженерные системы» [5–7] мы уже говорили о разработанном нами энергетическом методе водоподготовки и о его применении для уменьшения электрохимической и микробиологической коррозии, а также биообрастаний в тепловых, водопроводных сетях и системах водяного охлаждения дизелей тепловозов и промышленного оборудования.

Суть метода состоит во введении в систему одним циклом на срок до семи лет химически нейтральных составов, разрешенных для применения в питьевой воде и прошедших активацию в зависимости от состояния объекта (водно-химический режим — ВХР, коррозионность среды, степень износа объекта). Электрическое поле природных веществ накладывается на двойной электрический слой границы фаз (жидкость — твердое тело), меняя направленность физико-химических процессов на границе раздела. Указанные задачи выполняются экологично в рамках соблюдения санитарных норм без нарушения целостности материалов и превышения ПДК в рамках единой технологии.

Обработано более 1000 км тепловых и водопроводных сетей, более 200 водяных и паровых котлов, систем водоснабжения и калориферных ветвей в 1500 пассажирских вагонах внутрироссийского и международного сообщения, водяные системы охлаждения дизелей локомотивов и морских судов, промышленного оборудования. На морских судах обработаны также системы водотеплоснабжения (рис. 4–5).



Рис. 4. Обработка ЭМВ водяного тракта котельной корабля «Персей» № 821439 (26.05.2014)

В последнее время активно ведутся работы по применению ЭМВ для уменьшения коррозионности морской воды, в частности, проводятся исследования, направленные на защиту от коррозии с помощью разработанного метода затопленных в море объектов, представляющих реальную радиоактивную опасность [8].



*Рис. 5. Изменение состояния водного тракта котельной судна и некоторых параметров ВХР через двенадцать месяцев после обработки*

Метод применим на всех конструкционных материалах, он не приводит к разрушению при их обработке: чугунах, на всех видах стали, цветных металлах и их сплавах, пластиках, керамике, резине и т. д., практически на всех видах жидкостей (вода, антифризы, химические растворы, нефтепродукты и т. д.).

## **2. Пример использования ЭМВ для пластиковых (металлопластовых) сетей большой протяженности**

В качестве примера мы приводим результаты исследований и обработки с применением ЭМВ системы теплого пола церковного собора одного из подмосковных монастырей. Общая протяженность трубопроводов теплого пола порядка 3000 м. Пол отапливается секциями № 1–9, уложенными по схеме «улитка». Нагревательные трубки с внутренним диаметром 12 мм (покрытие — полипропилен) фирмы Valtec уложены с шагом 200 мм. Питание секций распределено между двух комплектов распределительных коллекторов фирмы РВМ.

Секции 1, 3–5 запитаны на верхнем комплекте распределительного коллектора (условно коллектор А). Секции 2, 6–9 запитаны на нижнем комплекте распределительного коллектора (условно коллектор Б).

Подача теплоносителя на каждый распределительный коллектор осуществляется из подвала с подающего регистра по отдельной трубе. Для создания дополнительного давления в подающих коллекторах теплоноситель подается через повышающие насосы:

- на коллектор А — насос Smedegard EV 3-100-2С, напор 11 метров;
- на коллектор Б — насос Grundfos URS 32-100-180, напор 9 метров;
- для выравнивания тепловой мощности между секциями дополнительно на трубы подачи на секции 1 и 3 установлены насосы: Wilo Star RS № 1, № 2.

Дополнительный напор 3 метра для секций теплого пола 1 и 3;

- на трубу подачи секции 6 установлен насос Wilo Star RS № 3, напор 5 метров для секции 6;

- в системе применены узлы смешивания фирмы ESBE (для регулировки температуры теплоносителя), которые получают сигналы от накладных термостатов WTG-ES фирмы WATTS, точность срабатывания  $\pm 5$  °С.

До начала применения ЭМВ температура на коллекторах А и Б составляла:  
коллектор А: подающая гребенка +54 °С, обратная — +30 °С;  
коллектор Б: подающая гребенка +52 °С, обратная — +28 °С.

Теплоноситель в системе — этиленгликолевый состав Dixis 30, изготовленный в соответствии с ТУ 2422-012-451 600 209-00, имеет на дату контроля увеличенное содержание взвесей, порядка 240 мг/л, что обусловлено и существенным биообрастанием системы (рис. 2).

По нашему мнению, именно использование в сети теплоносителя с недопустимым содержанием взвесей свидетельствует о прохождении микробиологической коррозии в системе. При разборке воздухоохладителя в системе было обнаружено наличие седимента (рис. 6), а также обширные отложения на сетке фильтра (рис. 7).

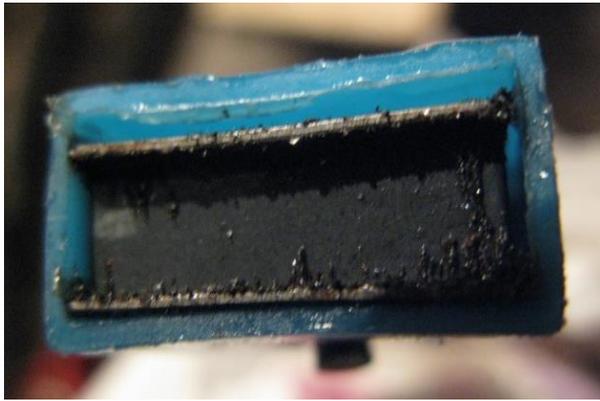


*Рис. 6. Вид седимента в разобранном воздухоохладителе из системы теплого пола*



*Рис. 7. Вид отложений на сетке фильтра системы теплого пола*

Следы биокоррозии остаются и на магнитном щупе, опущенном в слитую в отдельную емкость жидкость (рис. 8). Они выявлены после применения ЭМВ и выразились образованием магнетита аналогично представленному на рис. 3.



*Рис. 8. Магнитный щуп. Образование магнетита в Dixis 30 после применения ЭМВ*

Следует учитывать и электролитические свойства низкозамерзающих жидкостей. В инструкции по применению Dixis 30 говорится о необходимости выравнивания потенциалов с применением ПУЭ и о недопустимости смешивания разных составов.

Система теплого пола в храме работает на указанной низкозамерзающей жидкости в течение четырнадцати лет. Отмечены перепады температур между прямой и обратной ветвями системы порядка 28–29 °С, неравномерность нагрева отдельных ветвей пола и нерабочее состояние целого ряда отопительных радиаторов, работающих на Dixis 30, подаваемом на них с общего теплообменника. Это способствовало низкой температуре в храме в зимнее время, не отвечающей требованиям нормативных документов на подобные помещения.

Учитывая сильную загрязненность системы, заполненной Dixis 30, а также тот факт, что предложенные разработчиком насосы Wilo Star RS и Smedegard EV предназначены для работы только на чистой воде, было предложено слить низкозамерзающую жидкость, тщательно промыть систему (рис. 9) и заполнить ее водой. Исходя из инструкции по применению Dixis 30, расчетный расход циркуляционного насоса при этом принят на 10% меньше, а расчетный напор на 60% ниже, так как вышеуказанный теплоноситель по сравнению с водой имеет в 3–5 раз большую вязкость и на 10–15% меньшую теплопроводность.

С целью очистки и защиты системы от отложений, а также защиты ее от микробиологической коррозии и биообрастания применили ЭМВ. Учитывая большую протяженность системы (около 3000 м) малый диаметр трубок с полипропиленовым покрытием (12 мм), неравномерность нагрева отдельных ветвей вследствие их засоренности продуктами отложений, выпавшими в осадок из теплоносителя, было решено вводить ремонтно-восстановительный состав в систему в четко рассчитанных дозах, проводя непрерывный мониторинг. Работа проводилась на сильнозагрязненной системе в зимний период при выполнении рабочих функций данного объекта. Система обработана 26.11.2020. Перед применением ЭМВ со всех ветвей трубопроводов были сняты термограммы с помощью тепловизора Testo 875-2i, перепады температур между прямыми и обратными ветвями, взяты пробы смеси низкозамерзающей жидкости с водой, находящейся в системе.

За период с 20.11.2020 по 21.04.2021 проведены четыре обработки системы с четко выверенной рассчитанной дозой ремонтно-восстановительного состава, вводимого в разные участки системы по мере снижения их загрязненности. За этот период проведено семь промывок водой по отдельным конкретным узлам.



Рис. 9. Промывка системы водой после запуска энергента

Зима в указанный период была суровая (до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), и храм без тепла оставлять было нельзя. Об окончательных результатах работы можно судить по сравнительным теплограммам, снятым до обработки (19.11.2020) и через пять месяцев после (24.04.2021) (рис. 10–13 и табл. 2).

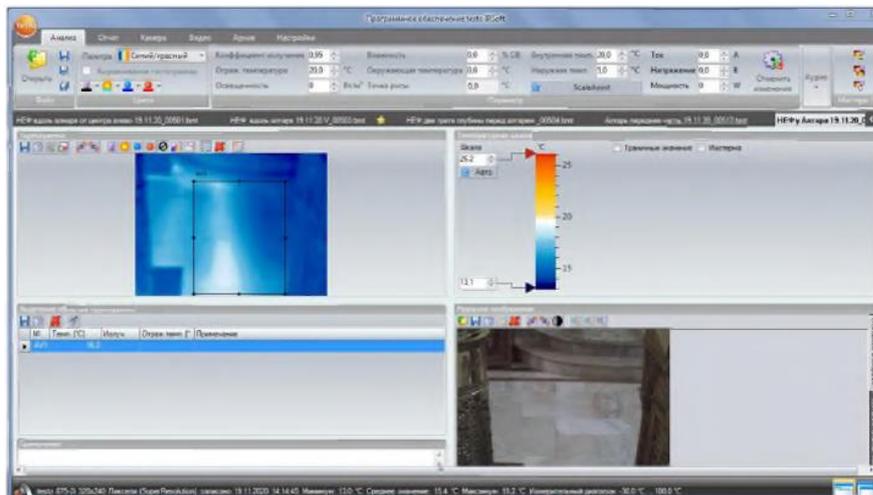


Рис. 10. Неф. 19.11.2020. Средняя температура пола  $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (до применения ЭМВ)

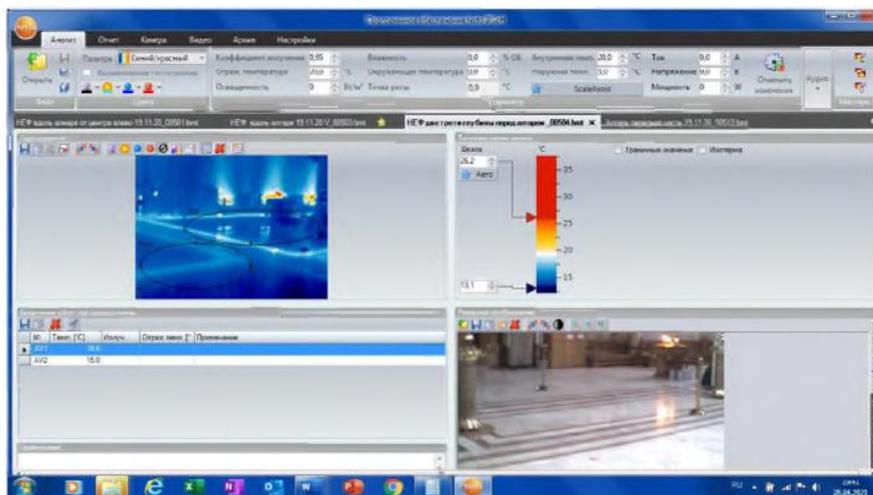


Рис. 11. Неф. 19.11.2020. Средняя температура пола  $15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (до применения ЭМВ)

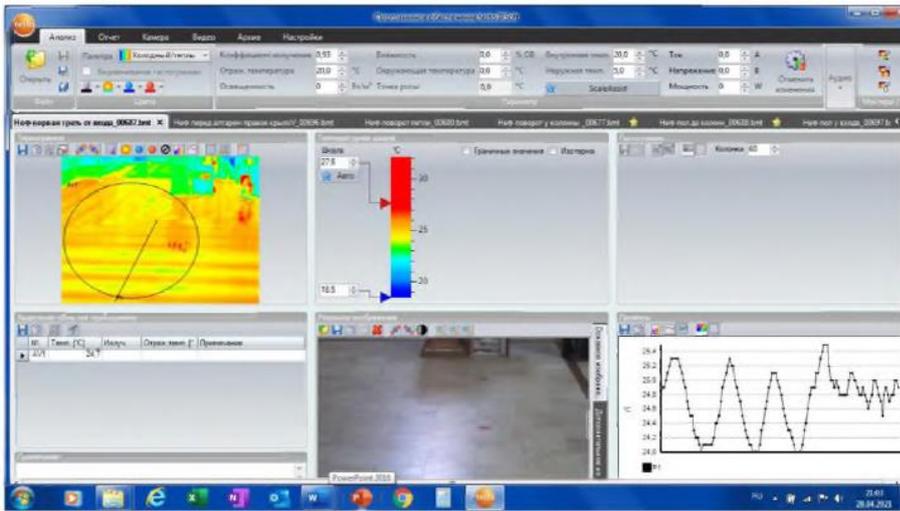


Рис. 12. Неф. 19.04.2021. Средняя температура пола 24,7 °С (после применения ЭМВ)

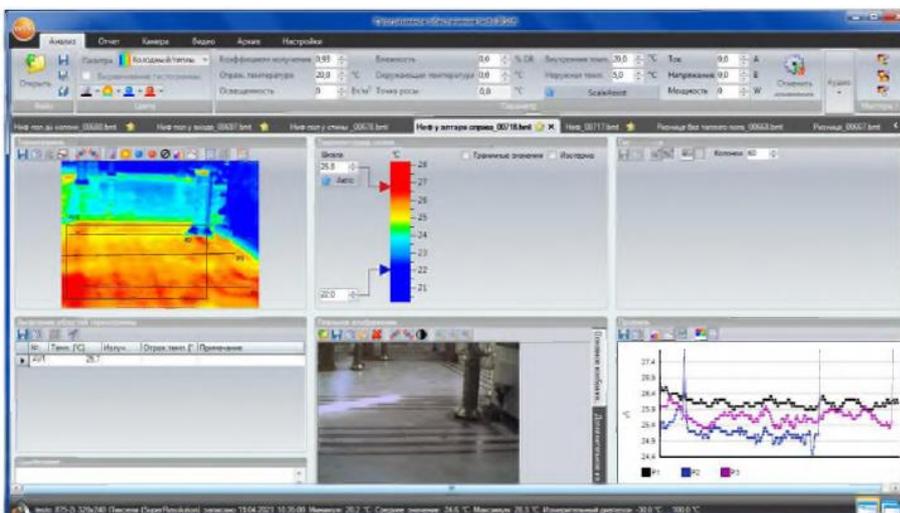


Рис. 13. Неф. 19.04.2021. Средняя температура пола 25,7 °С (после применения ЭМВ)

Таблица 2. Сравнительные температуры теплого пола до и после применения энергетического метода водоподготовки

Локация в храме	Температура до ЭМВ, °С	Температура после ЭМВ, °С
Алтарь	14,0–16,0	24,1
Неф	14,0–16,0	25,0
Ризница	22,5	26,0

Замеры до обработки проводились при температуре теплоносителя 47 °С, после — 34,7 °С.

Перепады температур с 19.11.2020 по 19.04.2021 приведены в табл. 3.

Таблица 3. Изменения перепадов температур и давлений с 12.03.2020 по 19.04.2021

	До промывки	Данные до промывки и пестель и регистры в Обработке на 26.11.20	Данные от 17.12.20 после промывки 10.12.20	Забит байпас А гребенки и течь воздуха -лителя Обработке на 19.12.20	После переборки 21.12.20 проведения промывки	Данные от 05.01.21	Данные от 11.01.21	Данные после промывки регистров 20.01.21	Данные от 08.02.21	Данные от 11.02.21	Данные от 16.02.21	Данные от 26.02.21	Данные от 08.03.21	Данные от 17.03.21 введено 120 гр	Данные от 19.04.2021 После промывки промывка пестель
	12.03.20	Промывка бюджет 10.12.20	Обработка бюджет 19.12.20	Промывка бюджет 21.12.20	Замер 24.12.20 Обработка бюджет 26.12.20			28/01/21						Обработка на 17.03.21	Промывка на проведение на 19.04.21
Регистр напор подвала РГТ	-58	3,2/56(55)		3,7/56		3,4/54		2,3/52	2,3/56	2,3/54	3,4/52	3,4/50	3,4/51	3,4/48	2,8/32
Регистр РГТ обратка подвала	-50	3/44(42)		3,4/46		3,24/41		2,2/40	2,2/40	2,2/40	3,3/39	3,38/40	3,3/40	3,3/37	2,8/28
Разность РГТ	-8	0,2/12		0,3/10		0,16/13		0,1/12	0,1/16	0,1/14	0,1/13	0,02/10	0,1/11	0,1/11	<0,0/4
Гребенка А напоры Тп	54	50	47	46	40	54	49	48	56	50	49	49	48	47	32
Гребенка А обратка Тп	28	21	19	19	28	35	34	34	35	34	33	34	33	33	26
А <sub>а</sub> (перепад) = Тп-То	26	29	28	27	12	19	15	14	21	16	16	15	15	14	6
Гребенка Б напоры Тп	52	50	50	50	39	50	48	48	54	50	48	47	47	45	32
Гребенка Б обратка Тп	27	23	20	22	25	32	31	31	44	31	30	32	31	30	26
Б <sub>а</sub> (перепад) = Тп-То	25	27	28	28	14	18	17	17	10	19	18	15	16	15	6
Разность обратных ветвей = А <sub>а</sub> - Б <sub>а</sub>	1	-2	-1	-3	3	3	3	3	-9	3	3	2	2	3	0
Разность обратных ветвей = А <sub>а</sub> - регистр Т <sub>а</sub>	-22	-13		-27		-6		-6	-5	-6	-6	-6	-7	-4	-2
Разность обратных ветвей = Б <sub>а</sub> - регистр Т <sub>а</sub>	-23	-11		-24		-9		-9	4	-9	-9	-8	-9	-7	-2

Вместо 28–29 °С перепад стал 6 °С, что свидетельствует о рабочем состоянии системы. Кроме того, ожили все отопительные радиаторы. Температура на уровне 10 м от пола внутри помещения (хоры) стала выше 16 °С, что соответствует установленным нормативам. Это было достигнуто при колоссальном внутреннем воздушном объеме здания — порядка 18 000 м<sup>3</sup>.

Появление магнетита, представленного на рис. 8, свидетельствует об образовании защитной пленки на металлических поверхностях.

Качество раствора, циркулирующего в трубопроводе в результате промывки водой, было существенно улучшено (рис. 14). Химический состав сточных вод при промывках не превышал уровня ПДК.



Рис. 14. Сравнительный вид теплоносителя в системе от 19.12.20 и 19.04.21

## Выводы

1. Установлено наличие биообрастания и микробиологической коррозии на тепловых металлопластовых сетях при использовании низкотемпературных жидкостей.
2. Учитывая сильную загрязненность системы (содержание взвесей в Dixis 30 порядка 240 мг/л) и предназначенность некоторых насосов для работы на чистой воде принято решение сменить теплоноситель Dixis 30 на воду и применить ЭМВ для очистки и защиты теплого пола от биообрастаний и коррозии.
3. В соответствии с инструкцией по применению Dixis 30 расчетный расход циркуляционного насоса при этом принят на 10% меньше, а расчетный напор на 60% ниже, так как указанный теплоноситель, по сравнению с водой, имеет в 3–5 раз большую вязкость и на 10–15% меньшую теплопроводность.
4. За счет применения 4-кратной обработки с расчетной дозой энергента, в зависимости от сложившейся ситуации, проведена очистка контура теплого пола протяженностью 3000 м и диаметром трубок с полипропиленовым покрытием 12 мм с образованием защитного слоя на стенках. Использовалась семикратная промывка системы водой.
5. За счет применения ЭМВ температура в контуре теплого пола поднялась на 10 °С. Перепад температур между прямой и обратной ветвью уменьшился с 28–29 °С до 6 °С. Улучшилось качество теплоносителя. На металлических поверхностях появилась защитная пленка. **При этом даже при весьма низких температурах атмосферного воздуха (–30 °С) процесс теплоснабжения храма не прерывался.**
6. В отличие от применения химических методов очистки не повреждены конструкции теплого пола при получении стабильных положительных эксплуатационных характеристик.
7. Химический состав сточных вод при промывках не превышал уровня ПДК.

## Литература

1. Вернадский В. Н., Маковецкая О. К. Сталь и алюминий — основные материалы сварочного производства. Технология машиностроения 2/2005.
2. Менча М. Н. Формирование биообрастания на традиционных материалах, оборудования системы питьевого водоснабжения. Сборник докладов 7-го международного конгресса «Вода: экология и технология». 2006. Часть 1, стр. 576.
3. Розанова Е. Г., Ентальцева Е. А. Распространение сульфатовосстанавливающих бактерий в трубопроводах тепловой сети и причины появления в воде сероводорода. Микробиология 1999, т. 68 № 1.
4. Розанова Е. Г. Дубинина Г. А. и др. Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов. Микробиология 2003, т. 72 № 2.
5. Торопов М. Н., Перков И. Е., Бегунов П. П. Энергоэффективная экологичная технология повышения надежности и ресурса систем водотеплоснабжения. Инженерные системы АВОК-Северо-Запад, 1/2019.
6. 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.
7. Торопов М. Н., Бегунов П. П., Васильев Н. В., Селиванов А. С., Перков И. Е. Некоторые технико-экономические аспекты применения ЭМВ в системах водотеплоснабжения. Инженерные системы АВОК-Северо-Запад, 1/2021.
8. 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-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». ИОРАН 2021.