

# ТАК ЛИ БЕЗОПАСНЫ ИНГИБИТОРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДООХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ?

Рассмотрена недооцененная на практике роль процессов микробиологической коррозии в структуре коррозионных разрушений конструкций, выполненных из различных материалов.

*Ключевые слова:* ингибиторные комплексы, водяная система охлаждения дизеля, электрохимическая коррозия, биоржавчина, биопленка



**М.Н. Торопов**



**А.С. Селиванов**

Эксплуатационные условия работы дизеля теплового зависят от состояния системы его охлаждения и, прежде всего, системы водного охлаждения. Она охлаждает дизель, масло и наддувочный воздух. В эту систему отводится до 40% теплоты, выделяемой при работе дизеля. В качестве охлаждающей жидкости (далее — ОЖ) используется пресная кипячая отстоянная вода (или конденсат) без механических примесей с добавлением к ней специальных присадок. Для умягчения воды применяют каустическую соду и тринатрийфосфат. В качестве антикоррозионных присадок — нитрат натрия.

Тем не менее, каналы водяной системы охлаждения подвергаются коррозии, а в трубках секций холодильников и рубашках цилиндров дизелей накапливаются отложения, которые перекрывают (до 20%) проходные сечения каналов (рис. 1). Это приводит к течам секций охлаждения ввиду истощения упругопластических свойств металла вследствие возникающих термических напряжений и перегреву дизеля.

Кроме того, это определяет перерасход топлива (не менее 1%), масла (не менее 5%), а также соответствующее увеличение выбросов вредных веществ в атмосферу.

**Торопов Михаил Николаевич**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: прочность и надежность конструкций, улучшение качества воды. Автор более 150 научных работ.

**Селиванов Александр Сергеевич**, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы тепло- и водоснабжения, водно-химический режим источников теплоты, тепловых сетей, систем теплотребления и водоснабжения, водоподготовка. Автор более 30 научных работ.

**Васильев Николай Викторович**, инженер-теплоэнергетик Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: водоподготовка и применение экологически чистых методов для уменьшения скорости коррозии в морской и пресной воде на затопленных конструкциях.

**Бегунов Пётр Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» Петербургского университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: очистка воды, ее обеззараживание через активацию, реконструкция и модернизация сооружений (водоснабжения и канализации), сетей (водоснабжения, канализации и теплоснабжения). Автор более 100 научных работ.

**Перков Иван Евгеньевич**, технический эксперт АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Область научных интересов: энергоэффективность и повышение ресурса объектов водотеплоснабжения железнодорожного транспорта. Автор более 10 научных работ.

Известно, что зарегистрированный выброс вредных веществ от парка тепловозов МПС СССР составлял порядка 170 тысяч тонн в год.

Качество воды, предназначенной для охлаждения тепловозных дизелей должно соответствовать распоряжению Минтранса РФ от 30.03.2001 г. №АН-25-р [1] при незначительном количестве солей, отсутствии взвешенных веществ и содержании необходимых антикоррозионных присадок. Так, в течение многих лет на железнодорожном транспорте использовались следующие антикоррозионные присадки: нитрито-фосфатная щелочная (в системах охлаждения с алюминием ее применять нельзя); нитрито-фосфато-хроматная (запрещена санитарно-эпидемиологической службой); нитрито-силикатная; нитрито-фосфатная без щелочи.

В частности, на тепловозах с дизелями производства АО «Коломенский завод» применялась водоподготовка с нитрито-фосфатной присадкой без щелочи. Охлаждающая жидкость с ее использованием обеспечивала относительно хорошую защиту деталей системы охлаждения от коррозии. Но это происходило при условии выполнения требований к качеству самой воды (табл. 1) и содержанию в ней отдельно вводимых компонентов присадок (табл. 2).

При этом используется природная вода, отвечающая качеству, приведенному в табл. 1, вода ионообменной обработки, либо конденсат, получаемый из отработанного пара. Качество охлаждающей воды контролируется после ее приготовления, через одно ТО-3 (для поездных тепловозов) и на каждом ТО-3 (для маневровых). Конденсат контролируется во всех случаях перед перекачкой его в раздаточный бак [1].



Рис. 1. Состояние системы водоохлаждения дизелей тепловозов

Сложность водоподготовки в процессе эксплуатации тепловозов и получение коррозионных разрушений конструкционных материалов в случаях несоблюдения норм, отраженных в табл. 1,2, заставили искать другие средства защиты систем охлаждения. С 2003 г. внедрена на железнодорожной технике антикоррозионная присадка к воде — ИНКОРТ-8МЗ. Разработчик и изготовитель НПФ «ХИМВИРИАЛ-ПЛЮС», г. Екатеринбург. До недавнего времени это был единственный продукт, предусмотренный для использования в системах охлаждения дизелей производства АО «Коломенский завод». По существу — это ингибиторный комплекс, предназначенный для очистки и защиты поверхностей охлаждения дизеля от коррозионно-кавитационных разрушений и накипных

Таблица 1

**Физико-химические свойства воды для охлаждения дизелей тепловозов, эксплуатируемых на железных дорогах**

| Показатели                                          | Блоки дизелей        |                           |
|-----------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|
|                                                     | Чугунные и стальные  | Алюминиевые               |
| Жесткость общая, мг-экв./л, не более                | 2,15                 | 2,15                      |
| Содержание хлоридов, мг/л, не более                 | 30,0                 | 30,0                      |
| Щелочность:<br>по фенолфталеину, мг-экв./л<br>по pH | 1,5–2,5<br>10,8–11,2 | Не допускается<br>7,0–8,0 |
| Фосфорный ангидрид $P_2O_5$ , мг/л                  | 15,0–25,0            | 15,0–25,0                 |
| Хромовый ангидрид $CrO_3$ , мг/л                    | Не допускается       | 800,0–1000,0              |
| Азотистокислый натрий $NaNO_2$ , мг/л               | 2500,0–3000,0        | Не допускается            |
| Взвешенные вещества, мг/л                           | Не допускается       | Не допускается            |

Таблица 2

**Норма содержания компонентов антикоррозионных присадок в охлаждающей воде**

| Нормируемый показатель      | Размерность | Охлаждающая вода с присадкой |                    |                           |                                |
|-----------------------------|-------------|------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                             |             | Нитрито-фосфатная (щелочная) | Нитрито-силикатная | Нитрито-фосфато-хроматная | Нитрито-фосфатная (без щелочи) |
| $P_2O_5$                    | мг/л        | 15,0–25,0                    | —                  | 15,0–25,0                 | 15,0–25,0                      |
| $CrO_3$                     | мг/л        | —                            | —                  | 800,0–1000,0              | —                              |
| $NaNO_2$                    | мг/л        | 1300,0–2500,0                | 1000,0–1500,0      | 1500,0–2000,0             | 2500,0–3000,0                  |
| Щелочность по фенолфталеину | мг-экв./л   | 1500,0–2500,0                | 1,0–3,0            | Не более 0,3              | Не более 0,3                   |
| Щелочность по pH            |             | 10,8–11,2                    | 8,0–9,0            | 8,0–8,5                   | —                              |

отложений [1]. Применяется для воды с жесткостью до 4,0 мг-экв./л.

Срок его службы с обеспечением защитных свойств черных и цветных металлов значительно больше, чем у предшествующих ему ингибиторных комплексов. Это в какой-то мере компенсирует его высокую стоимость.

Недостатком такой ОЖ является также нежелательность ее контакта с атмосферным воздухом. При длительном контакте с ним остатков ОЖ, может образоваться вначале желеобразный, а затем твердый осадок. Это диктует необходимость тщательной промывки системы водой после слива из нее на продолжительное время ОЖ.

В качестве альтернативы ИНКОРТ-8МЗ в настоящее время рассматривается ингибиторный комплекс DISSAFE 120, который прошел проверку на заводе и в эксплуатации. Распоряжением ОАО «РЖД» от 21.01.2019 г. №85 он допущен к применению в системах охлаждения тепловозных двигателей.

Следует отметить, что и новые разработанные ингибиторные комплексы не отменяют высоких требований к качеству заправляемой воды.

Несмотря на широкое использование ингибиторного комплекса ИНКОРТ-8МЗ (последние 15 лет) не удалось решить проблему выхода из строя секций водоохлаждения вследствие возникновения течей в зимний период и уменьшения их теплопроводности, приводящей к перегреву дизеля в летний период.

Об этом свидетельствуют случаи выхода из строя систем охлаждения дизелей тепловозов в сервисном локомотивном депо (СЛД) Тюмень. Одна из основных причин — коррозионные разрушения элементов системы охлаждения. Некоторые данные приведены в табл. 3.

Следует также обратить внимание на выход систем водоохлаждения дизелей тепловозов из эксплуатации в зимний и летний периоды в депо Югра и Барнаул в 2017 г. и на статистику внеплановых ремонтов по отказу системы водоохлаждения, отнесенную к парку тепловозов ОАО «РЖД» в 2009–2014 гг. (рис. 2), приведенную в работе [2]. А это почти трехкратное увеличение количества внеплановых ремонтов систем охлаждения в 2014 г. по сравнению с 2009 г.

Стоит также учитывать, что на сети железных дорог используются несколько серий тепловозов с дизелями разных производителей, в том числе и устаревших модификаций. В них предусмотрены и разные вышеупомянутые виды водоподготовки, изложенные в сводной инструкции по применению и приготовлению ОЖ — ПКБ ЦТ 25.088. В ней указано шесть видов водоподготовки, в том числе и для ингибиторного комплекса DISSAFE 120.

В такой ситуации велика возможность смешения разных видов ОЖ, в том числе и несовместимых друг с другом и, как следствие, загрязнение системы охлаждения. Для предотвращения этого необходимо разработать универсальную технологию, совместимую с вышеперечисленными ингибиторными комплексами, для промывки систем охлаждения дизелей тепловозов при постановке локомотивов на текущий ремонт по циклу TP1-TP2.

### **Не учитываемый на практике фактор применения ингибиторных комплексов в системах водяного охлаждения дизелей тепловозов**

При изучении коррозионных процессов в системах охлаждения дизелей тепловозов [3] отмечено два вида коррозии: электрохимическая и микробиологиче-

Таблица 3

**Некоторые данные по выходам из строя по причине коррозионных разрушений элементов систем охлаждения дизелей тепловозов в СЛД Тюмень в 2018 г.**

| Серия локомотива | Время простоя на НР | Общее время простоя (в часах) | Причина непланового ремонта (НР)                                                                                                                                                                                                           | Затраты на оплату труда, руб. | Затраты на материалы, руб. | Сумма ущерба, руб. |
|------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 2ТЭ116           | 19 ч 20 мин         | 43,9                          | Наличие воды в газовой полости левого выпускного коллектора №1258 (коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора в районе 2-го ЦК)                                                                                       | 11682,44                      | 12269,13                   | 23951,57           |
| 2ТЭ116           | 1 сут. 3 час 17 мин | 70,1                          | Наличие воды в газовой полости левого выпускного коллектора №151 (коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора в районе 3-го ЦК)                                                                                        | 5826,989                      | 21767,15                   | 27594,139          |
| ТЭП70            | 7 ч 29 мин          | 36,4                          | Наличие воды в левом выпускном коллекторе (коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора)                                                                                                                                | 11521,17                      | 1798,51                    | 13319,68           |
| 2ТЭ116У          | 1 сут. 19 ч 21 мин  | 25,8                          | Наличие охлаждающей жидкости в газовой полости левого выпускного коллектора №3738, прогар клапанов 3-го левого ЦК №119448 (коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора, нарушение регулировки клапанов 3-го левого ЦК) | 9197,61                       | 9159,00                    | 18356,61           |
| 2ТЭ116           | 1 сут. 10 ч 58 мин  | 65,7                          | Течь воды в картере по 6-му левому ЦК №121931, наличие воды в газовой полости левого выпускного коллектора (возникновение трещины в цилиндровой втулке 6-го левого ЦК, коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора)    | 11682,44                      | 7291,20                    | 18973,64           |
| 2ТЭ116           | 20 ч 59 мин         | 51,1                          | Наличие воды в газовой полости левого выпускного коллектора (коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора)                                                                                                              | 11682,44                      | 16930,67                   | 28613,11           |
| 2ТЭ116           | 1 сут. 4 ч 3 мин    | 49,7                          | Наличие воды в газовой полости левого выпускного коллектора №106 (коррозионный износ водяной полости левого выпускного коллектора)                                                                                                         | 4211,15                       | 110610,82                  | 114821,97          |
| ТЭП70            | 10 ч 57 мин         | 26,7                          | Наличие воды в газовой полости левого выпускного коллектора (коррозионный износ водяной полости средней части левого выпускного коллектора)                                                                                                | 11521,17                      | 3605,21                    | 15126,38           |
| Всего            | 8 сут. 24 мин       | 369,4                         | —                                                                                                                                                                                                                                          | 77325,41                      | 183431,7                   | 260757,1           |

ская, обусловленная жизнедеятельностью различных бактерий. О том, что эти бактерии жизнеспособны до  $t=80-85^{\circ}\text{C}$ , свидетельствуют работы специалистов института микробиологии РАН [4;5]. Бактерии заведомо присутствуют как в тепловых сетях, так и в системах водяного охлаждения дизелей тепловозов.

Поперечный разрез бугорка биоржавчины представлен на рис. 3.

Он состоит из налета живых бактерий и продуктов их жизнедеятельности (довольно прочных). Биоржавчина значительно уменьшает теплоотдачу

материала. Создаются идеальные условия для развития под бугорком электрохимической коррозии. Кроме того, возникают термические напряжения, истощаются упругопластические свойства материала, и происходит разрушение конструкции.

Если электрохимическая коррозия, в первую очередь, обусловлена агрессивностью транспортируемых вод с низким значением pH, содержащих значительное количество углекислоты, кислорода, сульфатов, хлоридов и т.д., то микробиологическая — наличием в воде микроорганизмов, которые приживаются, раз-

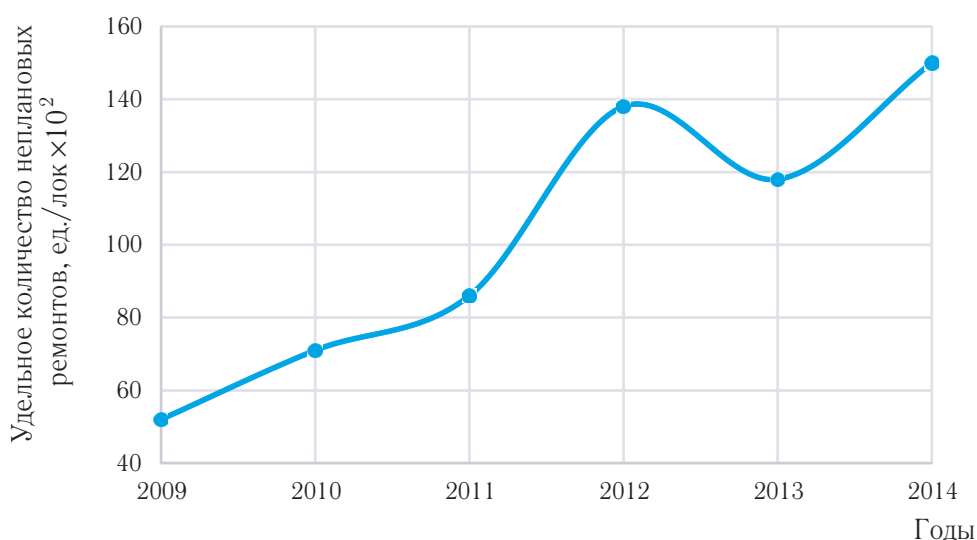


Рис. 2. Количество неплановых ремонтов по причине отказов системы охлаждения, отнесенное к парку тепловозов ОАО «РЖД» в 2009–2014 гг.

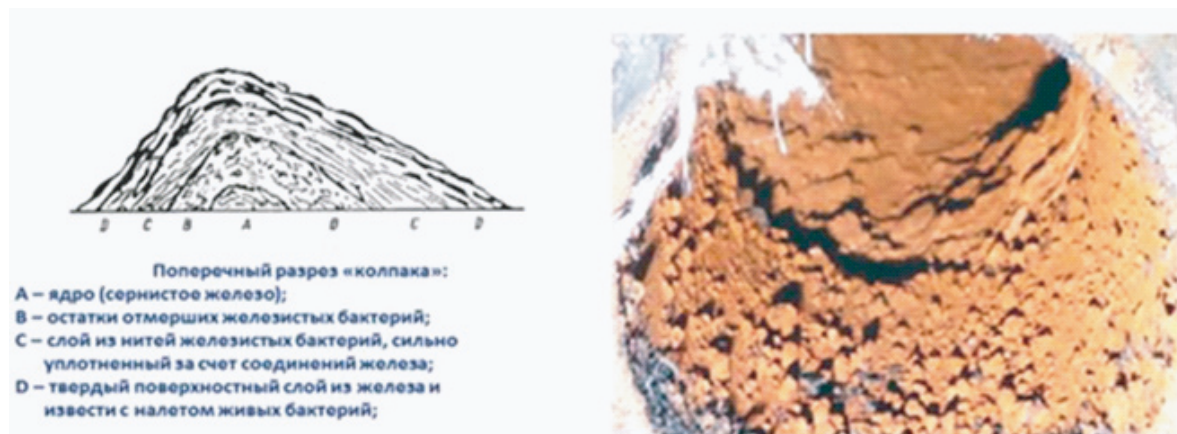


Рис. 3. Микробиологическая коррозия в элементе конструкции системы охлаждения дизеля тепловоза

множаются и образуют на внутренней поверхности трубопроводов биопленку. Ее наличие инициирует биообрастание, в процессе биогенеза которого в ней приживаются разнообразные водоросли, бактерии, вирусы, грибы.

По существу, биокоррозия — результат совокупности процессов между поверхностью металла, химическими веществами (продукты коррозии, ионный состав, pH) и микроорганизмами с продуктами их жизнедеятельности (органические кислоты, аммиак, сероводород). Причем, биокоррозия материалов непосредственно ассоциируется со следующими видами бактерий: сульфатовосстанавливающими (СВБ), железовосстанавливающими, металлоокисляющими (МОБ), кислотопродуцирующими (КПБ), тионовыми, секретизирующими полимеры и слизь, а также грибами [6].

Эти микроорганизмы существуют в консорциуме, образуя биопленку. Причем оценка роли консорциума в коррозии постоянно возрастает [6]. Так, например, кислоты, образуемые КПБ (муравьиная, уксусная, молочная) служат питательными веществами для СВБ и метаногенов. Тионовые бактерии участвуют в коррозии металла, окисляя его серной кислотой [7].

Известно также, что грибы выделяют органические кислоты. Так, грибы некоторых родов участвуют в коррозии алюминия и его сплавов в авиапромышленности [6].

При этом состав микробного консорциума будет определять наблюдаемые различия в скорости корро-

зии: от 0,05 мм/год в одной системе, до 3,00 мм/год в другой, хотя системы изначально были идентичны и помещены в одинаковые биологические условия [6].

Причем роль биопленки может быть многообразна. В частности, она приводит к разрушению защитных слоев металла. Так, микробы разрушают защитную пленку на поверхности нержавеющей стали, вызывая ее межкристаллическую коррозию [6].

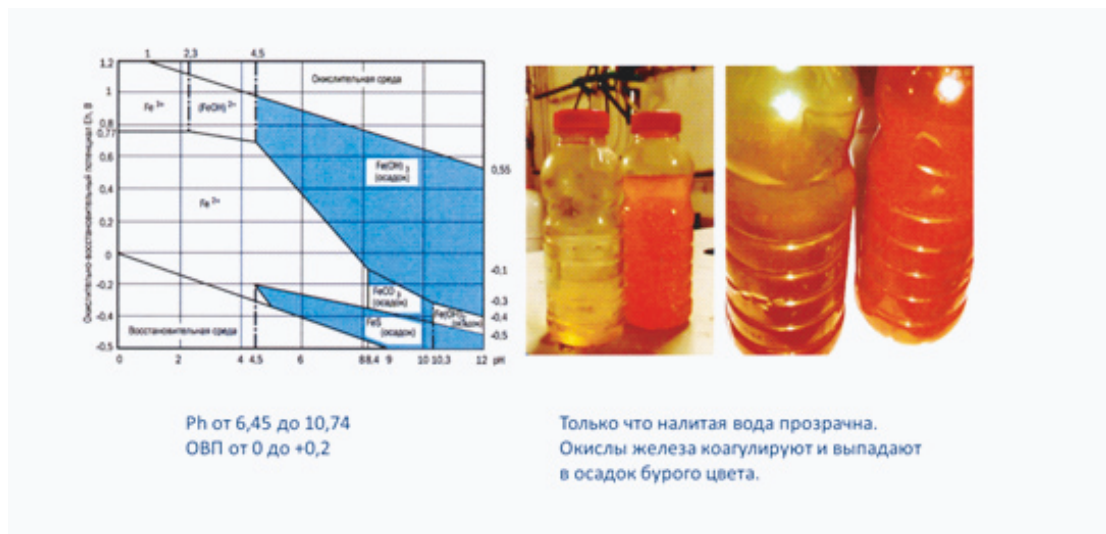
На рис. 4 приведено биокоррозионное разрушение систем охлаждения технологического оборудования для термохимической подготовки электроизоляционных смол (производства Германии), выполненного из нержавеющей стали AISI 321 (аналог стали аустенитного типа 08X18НЮТ). Разрушения наблюдались в районах сварки корпуса с секциями греющей рубашки. В воде явно присутствие микроорганизмов, что объективно отражает диаграмма Пурбе (рис. 5) и изменение состояния воды (выделение окислов железа).

Следует также учитывать, что в процессе эксплуатации, некоторые физико-химические параметры ингибиторных комплексов могут существенно изменяться. Так, в пробе ИНКОРТ-8МЗ из системы водоохлаждения дизеля тепловоза СЛД Тюмень установлено, что резерв щелочности после 70 тыс. км пробега уменьшился в ней на 54 %.

Это может свидетельствовать [6] о прохождении процессов биокоррозии и о неоднородности образовавшейся биопленки на поверхности металла. В результате создаются зоны, богатые кислородом и обедненные им. Это приводит к разности потенциалов и возникновению микробиологической коррозии.



Рис. 4. Коррозионные разрушения системы водоохлаждения импортного оборудования (Германия), выполненного из нержавеющей стали, из-за употребления воды низкого качества (псевдоустойчивой)



## Закключение

В отечественной и зарубежной практике водоочистки традиционно для обеззараживания воды и борьбы с биообрастанием трубопроводов используют окислители — преимущественно хлор или гипохлорит натрия [8]. В свою очередь, применяемые для борьбы с электрохимической коррозией ингибиторные комплексы с одной стороны, способствуют биообрастанию, т.е. развитию микробиологической коррозии, а с другой, в определенных условиях, являются достаточно токсичными [8]. Это объясняет возможность возникновения коррозионных разрушений элементов системы водоохлаждения дизелей тепловозов при использовании ингибиторных комплексов. При этом, получая положительные результаты по борьбе с электрохимической коррозией, мы тем самым увеличиваем микробиологическую коррозию.

Для решения проблемы, целесообразно использовать уже существующие технологии, позволяющие устранять биообрастание при одновременном существенном снижении скорости электрохимической коррозии и улучшении качества воды, с приведением его в соответствие с требованиями нормативов.

Кроме того, в соответствии с пунктом 2.3.11 [9] «На двигателе следует применять нетоксичные присадки к воде, не выпадающие в осадок и обеспечивающие консервационное действие». Наиболее полно отвечает требованиям [9] энергетический метод водоподготовки [3].



## Литература

1. Распоряжение Минтранса РФ от 30.03.2001 №АН-25-р (с изм. от 08.06.2007) «Об утверждении нормативно-технической документации» (вместе с «Технологией безопасной эксплуатации и ремонта подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта»). — Текст: непосредственный.
2. Горин, А.В. Методы контроля технологического состояния охлаждающих устройств тепловозов в эксплуатации: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горин, Антон Владимирович. — Москва, 2016. — Текст: непосредственный.
3. Торопов, М.Н. Энергетический метод водоподготовки (ЭМВ) для повышения надежности и ресурса систем водоохлаждения дизелей тепловозов / М.Н.Торопов, Н.В.Васильев, А.С.Селиванов. — Текст: непосредственный // Промышленный транспорт XXI век. — 2019. — №3—4.
4. Розанова, Е.П. Распространение сульфатовосстанавливающих бактерий в трубопроводах тепловой сети и причины появления в воде сероводорода / Е.П. Розанова, Л.А.Ентальцева. — Текст: непосредственный // Микробиология. — 1999. — Т. 68, №1. — С. 100—106.

5. Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов / Е.П. Розанова [и др.]. — Текст: непосредственный // Микробиология. — 2003. — Т.72, №2. — С. 212–213.
6. Videla H.A. Herrera L.K. «Microbiologically influenced corrosion: looking to the future» *Int Microbiology*, 2005; 8: 169–180 Review.
7. Коррозия образцов трубопроводной стали и сопряженная трансформация серных соединений тионовыми бактериями *HALOTHIOBACILLUS NEAPOLITANUS* DSM 15147 / А.В. Вацурина [и др.]. — Текст: непосредственный // Прикладная биохимия и микробиология. — 2005. — 41, №5. — С. 564–567.
8. Воинцева, И.И. Продление периода эксплуатации трубопроводов, систем водоохлаждения из стальных и чугунных труб / И.И. Воинцева, М.Г. Новиков, О.А. Продоус. — Текст: непосредственный // Инженерные системы — АВОК Северо-Запад. — 2019. — №1. — С. 44–47.
9. ГОСТ 10150-88 Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия = *Marine, locomotive and industrial engines. General*: государственный стандарт Союза ССР: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.12.88 №4130: взамен ГОСТ 4393-82 и ГОСТ 10150-82 / разработан Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения СССР. — Москва: Издательство стандартов, 1989. — Текст: непосредственный.
10. ГОСТ 10150-2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия *Reciprocating internal combustion engines. General specifications*: межгосударственный стандарт: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2014 г.) №72-П: дата введения 2016-01-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Центральный научно-исследовательский институт (ООО ЦНИДИ)». — Москва: АО «Кодекс», 2022. — Текст: непосредственный.