

СКУПОЙ ПЛАТИТ ДВАЖДЫ. О ПРОБЛЕМАХ СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ И СПОСОБАХ ИХ РЕШЕНИЯ

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

П. П. Бегунов, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ПГУПС

Н. В. Твардовская, заведующая кафедрой «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ПГУПС

Н. В. Васильев, инженер РУТ (МИИТ)

Статья посвящена поиску оптимального решения задачи поддержания систем канализации в чистом исправном состоянии. Во внимание принимается не только большая протяженность трасс, высокая стоимость и низкая суммарная производительность традиционных используемых методов по очистке и замене труб, но и повышение тарифов. Дешевле бороться за продление срока службы труб, уже находящихся в эксплуатации. Продление срока эффективного использования трубопроводов возможно с применением «энергетического метода водоподготовки» (ЭМВ). Изучен опыт нефтяников по удалению отложений в системах нефтедобычи.

1. Природоподобная технология решения многофакторных задач систем, контактирующих с жидкостями

В течение **более чем 20 лет** специалисты МИИТ и ПГУПС разрабатывают и внедряют в транспортном комплексе в рамках программ энергоресурсосбережения, энергоэффективности и безопасности природоподобную технологию — энергетический метод водоподготовки (ЭМВ), основанный на **использовании свободной энергии** природных минералов и введении в систему с гетерофазным рабочим телом наноструктурированных, гидро- и механоактивированных экологичных природных составов (энергентов).

В рамках единой технологии при минимально возможных затратах метод позволяет привести параметры водно-химического режима (ВХР), в том числе скорость коррозии, в соответствие с нормативами, улучшить качество воды, также и питьевой,кратно уменьшить вредные выбросы в сточные воды и атмосферу, проводя при этом безреагентное экологичное обеззараживание. Метод применим при любых сочетаниях рабочей жидкости и конструкционных материалов, контактирующих с ней, защищая системы от электрохимической, микробиологической, межкристаллитной, питтинговой коррозий, биообрастания, кратно уменьшая количество соленакипно-коррозионных отложений [1, 2].

Разработаны и проверены в реальных условиях энергенты, изготовленные из различных минералов применительно к особенностям обрабатываемой жидкой среды и поставленных техническим и технологическим задачам, в частности, повышения ресурса и энергоэффективности систем. В настоящий момент мы работаем с энергентами третьего поколения, продолжая исследования в указанном направлении.

При этом доказано [3], что необходимой частью технологического процесса ЭМВ является гидравлическая промывка систем в процессе их обработки и эксплуатации. Как видно из рис. 1 («Инженерные системы» № 3 2024, рис. 17) в результате применения ЭМВ

плотные накипно-коррозионные отложения размягчаются, становятся рыхлыми (верхний рисунок), возникает определенная капиллярность, обусловленная проникновением кислорода к поверхности металла (нижний рисунок) и образование на ней плотной защитной пленки. В данном случае размягченные отложения не вымыли водой из системы, и они застыли с образованием рисунка «стиральной доски» (нижний правый рисунок). Отложения удалены шпателем. При этом о приведении параметров ВХР к требованиям нормативов свидетельствует внешний вид образцов для замера скорости коррозии (рис. 2) («Инженерные системы» № 3 2024, рис. 18).



Рис. 1. Необходимость проведения гидравлической промывки после обработки



Вид образцов для замера скорости коррозии до обработки ($V_{\text{кор}} = 0,655$ мм/год) и после ЭМВ ($V_{\text{кор}} = 0,227$ мм/год)

Рис. 2. Вид образцов для замера скорости коррозии до обработки

Учитывая сложившиеся реалии, связанные с 80–85%-ным износом систем водотеплоснабжения и канализации, увеличением аварийности указанных систем с 0,1–0,15 до 3 аварии/км, рассмотрим чрезвычайно сложную (аварийную) ситуацию в стране в канализационных сетях [4].

2. Снижение потребления питьевой воды в городах — это уменьшение долговечности канализационных труб и увеличение расходов

В последние годы, к примеру, в Санкт-Петербурге величина удельного среднесуточного водопотребления (за год) на одного жителя уменьшалась в 2–3 раза. В СНиПе 1984 года в табл. 1 предлагался норматив из расчета 600 л/чел./сут., если проектирование будет проводиться в 2000 году.

Что же произошло? Почему приветствуется цифра в 128 д/чел. сут. в СПб сейчас? Возможно, причиной послужило абстрактное желание не отставать от «прогрессивного» Запада, где лучше знают, как расходовать воду. Там 1500 лет не мылись и сейчас рекомендуют только обтираться, сокращая расход воды до критического минимума.

Что сотворили, то уже есть. Нетрудно догадаться, что в канализационных трубах скорости потоков уменьшились, и взвешенные вещества стали осаждаться в трубах-отстойниках большой длины. Далее они стали работать как фильтры: осадок уплотнялся и кольматировался. Возник новый термин: «газовая коррозия» — вроде бы как уже известная и везде происходящая, т. е., в общем-то, ничего необычного. Однако при этом усилился процесс **выделения газов**, пошла биологическая коррозия и появились пары серной кислоты, разрушающие шельгу трубы. Долговечность труб при этом сокращается до 4–20 лет.

В первой половине XIX века в Париже проваливались целые улицы в клоаку города, где наблюдался застой хозфекальных стоков. Там это происходило местами, а у нас, с определенно высокой вероятностью, может начать происходить повсеместно. Например, дворовая канализация по ул. Чайковского. При использовании реактивных головок в сети на глубине 3 м (диаметр чугунной трубы 300 мм) на геометрической высоте более 9,3 м выбивало гидрозатворы унитазов в квартирах.

Производительность двух немецких машин мощностью 386 л. с. составила за двое суток непрерывной работы всего 1 пог. м/час. Извлеченный наилок отвозился за 10 км по улицам города этими машинами, т. е. самотечное перемещение наилка заменили на перевозку, что более чем в 100 раз больше по энергозатратам. Следует учесть и затраты на ремонт автодорог.

«Экономия» питьевой воды привела к заиливанию канализационных сетей во всех городах РФ и бывших союзных республик. Поэтому сети не справляются со сбросом ливневых вод, и города периодически затапливаются, их инфраструктура несет значительные убытки.

Можно ли почистить канализационные трубопроводы? В Санкт-Петербурге, если почистить сеть труб до диаметра 1000 мм включительно, необходимо затратить более 39 млрд рублей, при этом водоканал ежегодно недополучит 10 млрд рублей из-за непроданной «сэкономленной» у населения питьевой воды.

Как бы оценили экономисты сокращение выпуска продукции машиностроительного предприятия на такую сумму? Неужели бы гордились? А «экономией» воды — гордятся. Может, кто-то думает, что сокращается количество взвешенных веществ в сточных водах и уменьшается нагрузка на природу? Нет — количество приемников сточных вод (умывальников, раковин, унитазов и т. д.) закономерно растет, концентрация взвеси увеличивается, возрастает интенсивность образования газовых пузырьков в стоках, меняется кинематический коэффициент вязкости, что сказывается на ухудшении транспортирующей способности потоков.

На «прогрессивном» Западе пытаются строить вакуумную канализацию в малых населенных пунктах, предлагают изменить конфигурацию сечения труб. В нашей стране только повсеместная замена труб будет стоить много десятков годовых бюджетов РФ.

Поэтому дешевле бороться за продление срока службы труб, уже находящихся в эксплуатации. Самый дешевый путь восстановления самотечности труб — вернуть населению питьевую воду в полном объеме. Продление срока эффективного использования трубопроводов возможно с применением энергетического метода водоподготовки [4]. Экспериментальное воздействие метода ЭМВ на трубопровод, где происходила биологическая коррозия, дало выраженный положительный эффект, что требует проведения дальнейших НИР.

3. Анализ существующих методов удаления отложений и защиты от их образования

Возникшую нестандартную ситуацию в канализационных сетях, связанную с их существенным загрязнением органическими продуктами, солеотложениями и заиливанием, можно в какой-то мере сравнить с возникновением солеотложений, закупоривающих перфорационные каналы, обсадные и эксплуатационные колонны, клапаны, насосы, а также внутреннюю поверхность скважинного оборудования при нефтедобыче. Подобные явления в нефтяных месторождениях создают реальную угрозу остановить нефтедобычу. При этом образование солеотложений внутри скважин может принести убытки в миллионы долларов. Но разработаны технологии и оборудование для борьбы с ними, а также для предотвращения их образования [5].

Было бы полезным использовать этот богатый опыт и модернизировать эти технологии с учетом разработанных нами природоподобных применительно к канализационным сетям. Методы удаления солеобразований включают в себя как химические, так и механические способы в зависимости от положения отложений и их физических свойств. К примеру, некоторые минеральные соли, такие как карбонат кальция (CaCO_3), способны растворяться в кислотах, в то время как другие — нет. Иногда солевые отложения защищают от растворения смолообразные и парафиновые пленки углеводородов. В сложных случаях при образовании твердых непроницаемых слоев используют механические методы.

Прежде всего как и при нефтедобыче, так и в канализационных сетях целесообразно оценить характер отложений, механизм их образования и их химический состав. На рис. 3 приведен характер отложений в напорных и самотечных канализационных сетях [6].

На тепловых и водопроводных сетях по имеющемуся опыту энергент через отложения (трещины, поры) проникнет к поверхности трубы, образуя на ней прочную защитную пленку, способствуя размягчению и разрушению отложений. Но этот процесс будет идти медленно, от 1 до 5 мм толщины отложений в месяц в зависимости от их состава.



а) Напорная канализация



б) Самотечная канализация

Рис. 3. Общий вид отложений в напорных и самотечных канализационных сетях

Что касается полного удаления осадка с поверхности труб

Выбор лучших методов по удалению осадков зависит от знания типа, количества, физического состава и структуры осадка. Механические способы предлагают нам большой выбор инструментов и методов, применяемых для внутритрубного пространства. Некоторые из них приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Некоторые механические способы удаления осадков

Инструмент	Описание	Преимущества	Недостатки
Позиционно-струйный инструмент	Сопловая головка поворачивается на $\approx 90^\circ$ при циклическом изменении давления в колонне гибких НКТ. В головке имеется много сопел малого диаметра, что улучшает промывание ствола скважины		Требуется несколько СПО для очистки, что увеличивает продолжительность операции и износ гибких НКТ. Отсутствие индикации очистки поверхности. Малый радиус очистки из-за малого диаметра сопел
Турбоприводный струйный инструмент	Гидравлическая турбина вращает головку с двумя соплами. Частота вращения регулируется индукционным тормозом	Промывание всего ствола скважины с большим радиусом очистки	Через турбину нельзя закачивать абразивы. Сложный инструмент
Инструменты Jet Blaster			
Метод Scale Blasting	Сопловая головка, вращаемая двумя соплами, смещенными относительно оси инструмента. Регулирование	Промывание всего ствола скважины с большим радиусом очистки.	

	частоты вращения посредством вязкостного тормоза	Четкая индикация очистки на поверхности	
Метод Bridge Blasting	Двигатель с приводом от потока жидкости Moineau и струйная фрезерная головка. Радиальные форсунки следуют за направляющим фрезером	Четкая индикация очистки на поверхности	Статор двигателя и фрезер являются дорогостоящими расходными материалами. Предельная температура $\approx 300^{\circ}\text{F}$ (150°C)

Среди методов распространены гидравлические струйные методы под давлением. Струя воды удаляет отложения на поверхности путем кавитации, при которой в струе гидравлической форсунки формируются гидравлические пузыри. В некоторых случаях возможно добавление к водяной струе твердой фазы в небольшом количестве. Целесообразно использовать в качестве таковой энергент. Но необходимо проведение исследовательских работ.

Удаление песчаных пробок при нефтедобыче в некоторых случаях требует применения фрезерных головок.

Для предотвращения образования осадков нефтяники обычно используют ингибиторные комплексы, которые, успешно справляясь с электрохимической коррозией, не устраняют биологическую, распространенную в канализационных сетях. Но, как показали результаты работы [7] 40% всех разрушений систем происходит по причине развития микробиологической коррозии. Поэтому, возможно, лучший вариант защиты — это применение ЭМВ, который в рамках единой технологии справляется с двумя вышеуказанными видами коррозии, являясь при этом экологичным, безреагентным способом.

И несколько слов о **практическом применении ЭМВ**. При обработке очистных сооружений сточных вод канализационной насосной станции Джамку с двумя насосами СД 50/56, протяженностью канализационных сетей 2360 м Дальневосточной железной дороги производительностью 700 м^3 в сутки улучшился состав сточных вод, уменьшилась концентрация болезнетворных микробов. Эффективность очистки канализационных стоков возросла с 60 до 96% [8].

Проведение исследовательских работ на фактическом материале позволит решить эту сложную, актуальную на сегодняшний день задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Торопов М. Н. Природоподобные технологии — путь решения социальных и технико-экономических проблем. — Инженерные системы. АВОК Северо-Запад, 2025, № 1, с. 66–70.
2. Торопов М. Н. Единая природоподобная технология решения многофакторных задач конструкций, контактирующих с жидкостью. — Инженерные системы. АВОК Северо-Запад, 2024, № 4, с. 34–50.

3. Торопов М. Н. Сопровождение природоподобной технологии — путь достижения ожидаемого результата. Инженерные системы. АВОК Северо-Запад, 2024, № 3, с. 46–56.
4. Торопов М. Н., Бегунов П. П. Повышение надежности и ресурса компонентов водопроводных и теплоэнергетических систем за счет применения энергетического метода водоподготовки. Новые достижения в областях водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: Сб. статей МИПК (Санкт-Петербург); 6–8 декабря 2017 года. — СПб: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019, с. 7–9.
5. М. Крабтри, Д. Зелингер, Ф. Флетчер, М. Миллер, Э. Джонсон, Д. Кинт. Борьба с солеотложениями — удаление и предотвращение их образования. — Нефтегазовое обозрение. Осень 2002, с. 52–73.
6. Продоус О. А., Якубчик П. П. О безопасной эксплуатации изношенных водопроводных, канализационных и тепловых сетей с внутренними отложениями. — Инженерные системы. АВОК Северо-Запад, 2025, № 1, с. 62–64.
7. Торопов М. Н. О возможности выполнения в России решений Киотской конференции. — Технология машиностроения, 2005, № 2, с. 52–60.
8. Торопов М. Н. Гарантированное качество воды от водозабора к потребителю — экологичный и энергоэффективный путь решения проблемы водотеплоснабжения отрасли. — Наука и техника транспорта, 2024, № 2, с. 47–56.