

СНИЖЕНИЕ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННО-ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД С СОДЕРЖАНИЕМ ВОДОМЕТАНОЛЬНОЙ СМЕСИ НА ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СБОРА, ОЧИСТКИ И ЗАКАЧКИ В ПОГЛОЩАЮЩИЙ ПЛАСТ СТОЧНЫХ ВОД ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА

УДК 620.197.3::622.324.5

В.В. Дмитрук, к.т.н., ОАО «Севернефтегазпром»
(Новый Уренгой, РФ), sngp@sngp.com

А.А. Касьяненко, к.т.н., ОАО «Севернефтегазпром», sngp@sngp.com

С.В. Полтавский, ОАО «Севернефтегазпром», PoltavskiySV@sngp.com

А.А. Легай, ОАО «Севернефтегазпром», LegaiAA@sngp.com

Для увеличения срока службы и сокращения затрат на ремонт оборудования и коммуникаций канализационно-очистных сооружений, исключения рисков их разрушения с негативным влиянием на окружающую среду с помощью ряда методов физико-химического анализа изучена коррозионная активность проб сточных вод по отношению к материалу трубопроводов и оборудованию канализационно-очистных сооружений. Проведен химический и биологический анализ сточных вод, а также рентгеноспектральный микроанализ состава отложений на внутренних поверхностях труб и другого оборудования.

На основании полученных данных сделан вывод о том, что основные причины коррозионного износа стали – микробиологическая коррозия, вызванная продуктами жизнедеятельности бактерий – тиолами (меркаптанами) и сероводородом – в трубопроводах стоков и емкостях для их накопления, а также коррозия с кислородной деполяризацией с участием анодных активаторов – хлорид-ионов.

С использованием результатов лабораторных испытаний эффективности ингибирования проб сточных вод различными композициями органических ингибиторов коррозии и биоцида показано, что ингибиторная защита оборудования и трубопроводов канализационно-очистных сооружений на основных стадиях очистки и закачки стоков в поглощающий пласт со скоростью коррозии, изменяющейся в диапазоне 0,23–2,90 мм в год, позволяет снизить скорость коррозии до проектного значения (0,10 мм в год).

Применение полученных в настоящей работе данных позволит с минимальными затратами уменьшить коррозионную активность очищенных хозяйственно-бытовых и промышленно-дождевых сточных вод, содержащих метанол, степень деградации механических свойств металлов и сплавов, а также сократить риски выхода из строя оборудования и негативного воздействия стоков на окружающую среду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ, КАНАЛИЗАЦИОННО-ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ.

В процессе промышленной эксплуатации оборудования и коммуникаций на Южно-Русском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ), предназначенных для сбора, очистки и утилизации сточных вод, обнаружено, что ско-

рость протекания коррозионных процессов превышает проектное значение (0,1 мм в год). Разработка технических решений для устранения подобного несоответствия – актуальная задача предприятий топливно-энергетического ком-

плекса Российской Федерации. Традиционно для борьбы с коррозией проводят дорогостоящий ремонт с остановкой производственных процессов и заменой поврежденных элементов оборудования и участков трубопроводов. Однако согласно

V.V. Dmitruk, PhD in Engineering, Severneftegazprom OJSC (Novy Urengoy, the Russian Federation),
sngp@sngp.com

A.A. Kasyanenko, PhD in Engineering, Severneftegazprom OJSC, sngp@sngp.com

S.V. Poltavskiy, Severneftegazprom OJSC, PoltavskiySV@sngp.com

A.A. Legay, Severneftegazprom OJSC, LegaiAA@sngp.com

Reducing the corrosive effect of utility, industrial, and rainfall sewage waters containing water/methanol mixture on the equipment of the system for collection, treatment, and injection of gas field sewage waters to the intake bed

The paper considers the physical-chemical study of corrosiveness of sewage water samples to pipeline material and sewage treatment facilities' equipment to increase the service life and reduce the maintenance cost for the equipment and pipes and eliminate the risk of their destruction with environmental impacts. Chemical and biological analyses were carried out for sewage water, as well as X-ray spectrum analysis for the precipitate on the inner surfaces of pipes and other equipment. Based on the data obtained, it is concluded that there are two main causes of steel corrosion wear. They are microbiological corrosion caused by bacteria produced mercaptans and hydrogen sulfide in sewage pipelines and collection tanks and oxygen-reduction corrosion driven by chloride ions as anodic activators.

Laboratory testing of sewage water samples for inhibition efficiency of various organic corrosion inhibitor compositions and biocide shows that inhibitor protection of sewage treatment facilities' equipment and pipelines reduces corrosion rate to the design value of 0.10 mm per year at the key stages of treatment and injection of gas field sewage waters to the intake bed when the initial corrosion rate is 0.23–2.90 mm per year.

Application of the data obtained in the study will make it possible to reduce the corrosiveness of treated methanol-containing utility, industrial, and rainfall sewage waters, degradation of mechanical properties of metals and alloys, and risks of equipment failures and environmental impacts.

KEYWORDS: CORROSION INHIBITOR, MICROBIOLOGICAL CORROSION, SEWAGE TREATMENT FACILITIES, SEWAGE WATERS, WASTEWATERS.

результатам анализа научно-технической литературы [1–4] замена труб, изготовленных из стали марок 10Г2 и 09Г2С, на наиболее коррозионно-опасных участках трубами из малолегированных сталей (в частности, типа 12Х1МФ) не позволит снизить скорость коррозии до проектного значения, не обеспечит противокоррозионную защиту емкостей и оборудования для сбора, очистки и утилизации сточных вод и потребует дополнительного применения ингибиторов коррозии.

Для исключения рисков возникновения нештатных ситуаций и негативного воздействия на окружающую среду в результате разгерметизации оборудования и трубопроводов, увеличения срока их службы требуется применять эффективные и экономически обоснованные комбинированные методы, направленные на устранение причины высокой скорости коррозионных процессов. Для разработки способа снижения коррозионной активности очищенных хозяйственно-бытовых и промышленно-дождевых сточных

вод, содержащих метанол, проведена научно-исследовательская работа по изучению этих причин на примере металлоконструкций канализационно-очистных сооружений (КОС) Южно-Русского месторождения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с технологическим процессом и составом оборудования КОС газового промысла для исследования коррозионной активности сточных вод на различных участках очистной системы в местах начала стоков выбраны следующие места взятия проб жидкостей, отложений с поверхности металла КОС и образцов металла трубопроводов, подвергшихся коррозии:

- начало стоков;
- участок разделительной емкости промышленно-дождевых стоков и рефлюксных вод;
- выход из очистных установок КОС;
- емкости сбора стоков;
- выход станции насосной за- качки стоков в пласт (НЗСП);

– выход системы очистки полигона закачки стоков в пласт (ПЗСП).

Коррозионными и электрохимическими методами с построением поляризационных кривых исследована коррозионная активность проб сточных вод по отношению к материалу трубопроводов (сталь 09Г2С), проведены физико-химический (потенциометрия с использованием прибора «Экотест-2000», мультиметра APPA 109 и набора ион-селективных электродов производства ООО «НПП «Эконикс», ООО «Измерительная техника»), биологический (экспресс-метод определения концентрации молекул аденозинтрифосфата по интенсивности биолюминесценции с помощью люменометра SystemSURE Plus производства Hygiene International Ltd., Великобритания) анализы сточных вод на всех стадиях технологического процесса и рентгеноспектральный микроанализ (прибор JEOL JSM-U3, Япония) состава отложений, образовавшихся на внутренней поверхности трубопроводов и емкостей КОС.

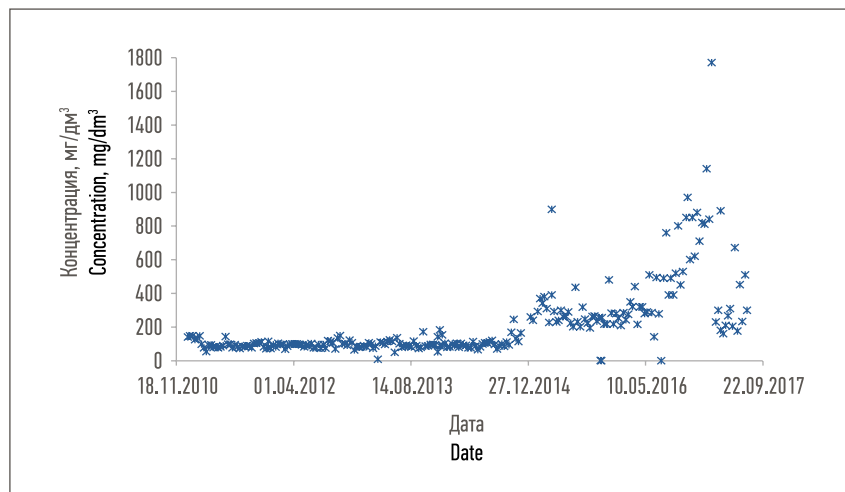


Рис. 1. Содержание хлорид-ионов в пробах перед закачкой в пласт
Fig. 1. Chloride ion contents in samples before injection

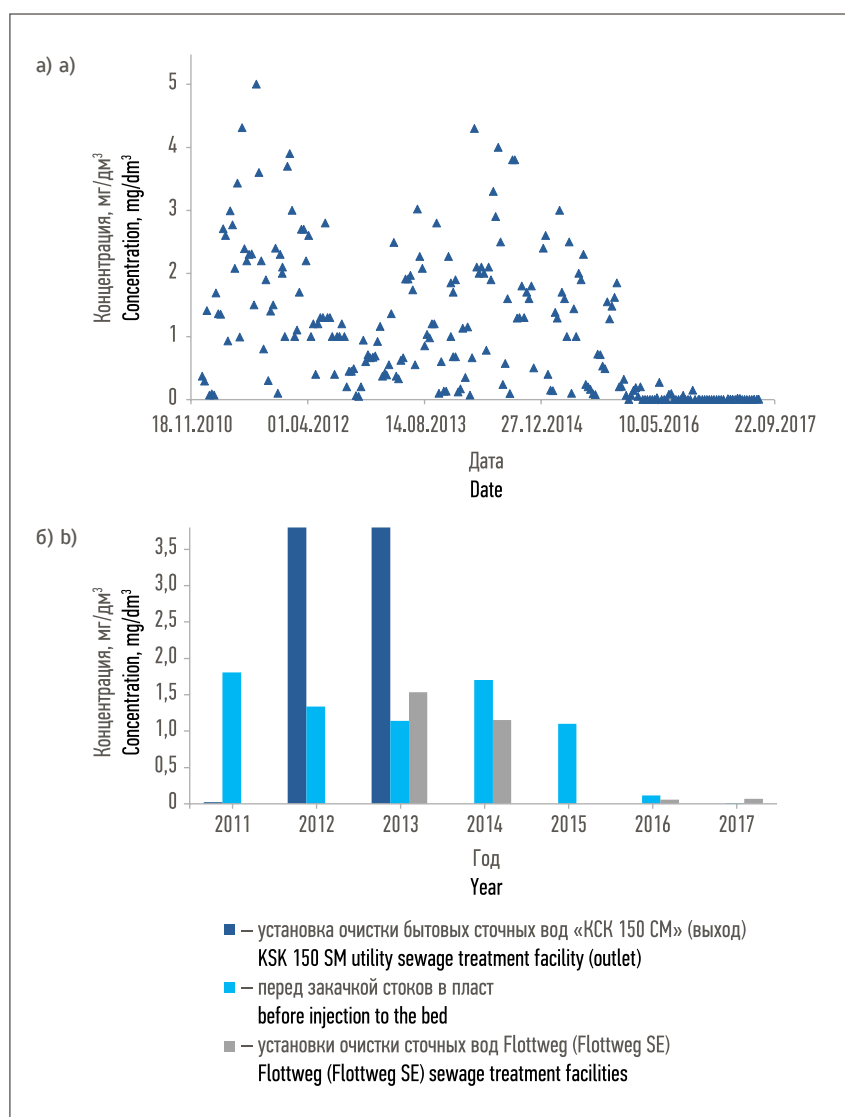


Рис. 2. Содержание сульфидов в сточных водах: а) пробы перед закачкой стоков в пласт; б) средние значения
Fig. 2. Sulfide contents in sewage waters: a) samples before injection; b) means

С использованием полученных данных определено, что коррозионно-активные компоненты хозяйственно-бытовых и промышленно-дождевых стоков представлены анионами сильных кислот (хлорид-, сульфат-ионы), а также сульфид-ионами и сероводородом. Наиболее эффективные анодные активаторы коррозии углеродистых и малолегированных сталей – сульфат- и хлорид-ионы.

При анализе состава стоков выявлено, что содержание сульфат-ионов в большинстве проб не превышает 100 мг/дм³ (обычно существенно ниже). Соответственно, их вклад в коррозионную активность стоков нельзя считать решающим. В то же время с 2015 г. наблюдалось заметное увеличение концентрации хлорид-ионов (с 100–200 до 400–600 мг/дм³, единичные значения достигали 1700 мг/дм³), что повышает коррозионную активность стоков (рис. 1).

Рост количества Cl⁻ обусловлен вводом в эксплуатацию в конце 2014 г. водоочистного комплекса «ИМПУЛЬС-10-2/20» (ООО «Научно-инновационный центр электроимпульсных технологий») с использованием коагулянта «АКВА-АУРАТ 30» (полиоксихлорид алюминия). В настоящее время, за счет подбора оптимальной дозировки коагулянта, среднее содержание хлорид-ионов в стоках не превышает 430 мг/дм³.

Концентрация сульфид-ионов/сероводорода лежала в диапазоне 0–5 мг/дм³ до 2016 г., однако затем резко упала практически до нулевых значений (рис. 2). Следует отметить, что даже небольшое количество сероводорода вносит заметный вклад в коррозионные процессы, что могло проявиться в то время, когда H₂S в пробах обнаруживался.

При измерении мгновенной скорости коррозии методом линейного поляризационного сопротивления (портативный автоматизированный коррозиметр «Эксперт-004», ООО «Эконикс Эксперт») зарегистрированы высокие значения токов (скоростей) коррозии, свидетель-

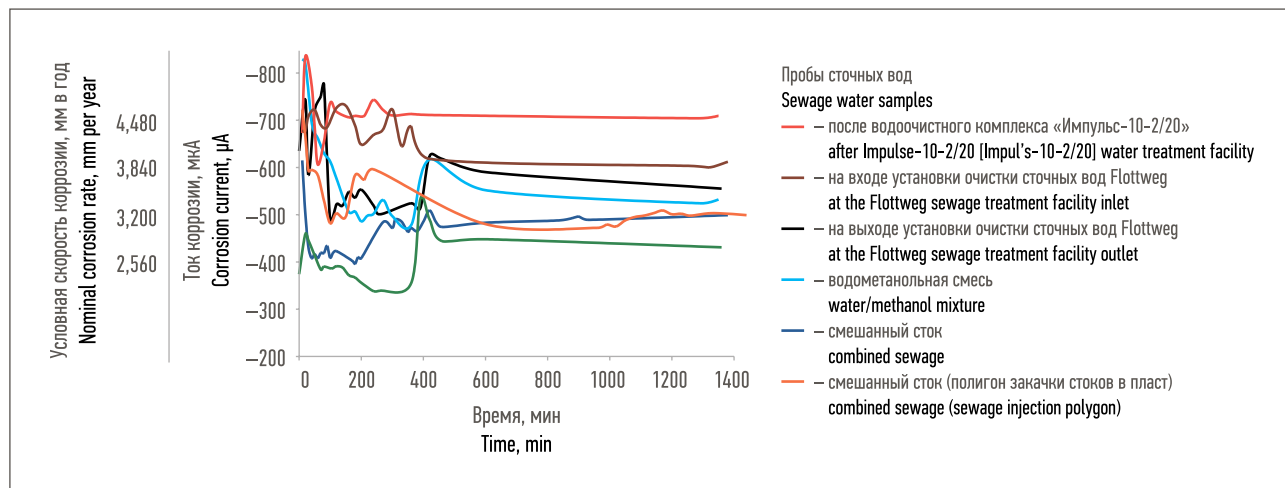


Рис. 3. Мгновенная скорость коррозии стали 09Г2С
Fig. 3. The instantaneous corrosion rate of 09G2S steel

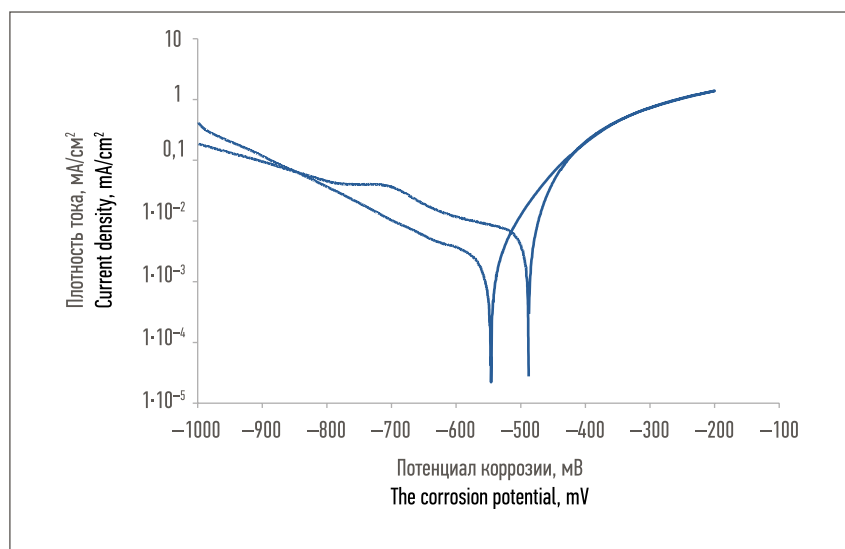


Рис. 4. Поляризационные кривые, снятые в пробах сточных вод (полигон закачки стоков в пласт, точность до $0,1 \cdot 10^{-5}$ mA/cm²)
Fig. 4. Polarization curves obtained in sewage water samples (sewage injection polygon, precision up to $0,1 \cdot 10^{-5}$ mA/cm²)



Рис. 5. Боковая поверхность стенки трубы из стали 09Г2С с отложениями (фотография шлифа)
Fig. 5. The side surface of 09G2S steel pipe wall with precipitation (section photograph)

ствующие о большой коррозионной активности стоков вод в отношении материала трубопроводов (сталь 09Г2С) (рис. 3). Для получения информации о механизме коррозионного процесса построены поляризационные кривые (рис. 4), в результате анализа которых определено, что потенциал коррозии имеет отрицательное значение (-0,55...-0,45 В), и зафиксирована высокая скорость анодного растворения металла.

В целях определения структурных изменений металла труб КОС вследствие коррозионного воздей-

ствия стоков проведены микроскопические исследования шлифов труб на металлографическом микроскопе Neophot 2 (ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси) при 40-, 200- и 500-кратном увеличении (рис. 5). Обнаружено, что металл имеет стандартную феррито-перлитную микроструктуру стали 09Г2С без включений с размером зерен феррита 10–20 мкм. В результате сделан вывод, что в стали 09Г2С основного металла трубопроводов не происходит структурных

превращений и разрушение поверхности трубы вызвано коррозионными процессами, протекающими на границе внутренней поверхности трубы – стоки.

Состав отложений, образующихся на внутренней поверхности емкостей и трубопроводов, определен методом рентгеноспектрального микроанализа (рис. 6). Показано, что отложения представлены преимущественно продуктами коррозии (оксиды железа), также в них содержится существенное количество органических компонентов.

Особый интерес вызывают результаты анализа отложений из трубопроводов НЗСП. В исходном виде они представляли собой черную влажную массу с характерным запахом. Кроме органических компонентов в пробе обнаружено большое количество серы в виде

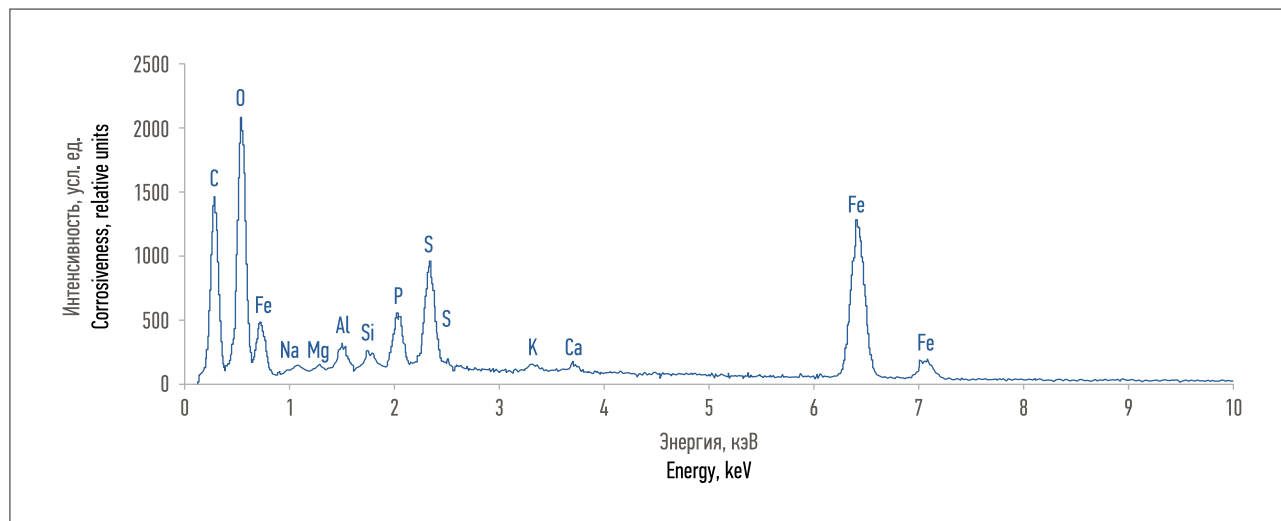


Рис. 6. Данные рентгеноспектрального микроанализа отложений из емкостей и трубопровода
Fig. 6. X-ray spectrum analysis data for precipitates from the tanks and pipeline

сульфидов, на что указывал интенсивный запах сероводорода при обработке пробы разбавленной соляной кислотой. Данные факты свидетельствуют о том, что при общей агрессивности стоков по отношению к материалам емкостей и трубопроводов протекает сероводородная коррозия.

В ходе лабораторных исследований электрохимическими и гравиметрическим методами определено, что в металлоконструкциях КОС скорость коррозии достигает 2–3 мм в год и указанные результаты соответствуют фактическим данным дефектоскопического обследования.

В результате химического анализа хозяйственно-бытовых и промышленно-дождевых стоков выявлена высокая концентрация хлорид-ионов и соединений, содержащих сульфид-ион (табл. 1, 2), – тиолов (меркаптаны) и сероводорода (гидросульфид-ионы), которые могли образоваться как результат жизнедеятельности гнилостных и сульфатредуцирующих бактерий.

Результаты биологического анализа подтвердили высокую бактериальную зараженность пробы стоков, отобранной в НЗСП, а данные микрорентгеноструктурного анализа отложений свидетельствуют о значительном количестве серы в виде сульфида железа.

На основании результатов выполненных исследований сделан вывод о том, что основные причины высокого коррозионного износа металлоконструкций – микробиологическая коррозия, вызванная продуктами жизнедеятельности бактерий – тиолами (меркаптанами) и сероводородом, а также окислительная деструкция с кислородной деполяризацией с участием анодных активаторов – хлорид-ионов.

Для снижения скорости коррозии в промышленности широко применяются ингибиторы коррозии (ИК), которые позволяют при небольших капитальных затратах снизить окислительную активность транспортируемых веществ и замедлить процессы разрушения и деградации механических свойств металлов и сплавов с минимизацией рисков выхода из строя оборудования. Необходимо отметить, что применение ИК не требует принципиального изменения существующих технологических схем производства.

Испытания ИК в пробах сточных вод проводили в U-образной ячейке на пластинах стали 09Г2С в динамических условиях (скорость потока агрессивной среды 0,8 м/с) гравиметрическим методом. Зачищенные и обезжиренные этиловым спиртом препараты выдерживали в эксикаторе над CaCl_2 не менее 24 ч

и взвешивали на аналитических весах GR 202 (A&D Co., Ltd) с погрешностью $\pm 0,1$ мг. Продолжительность коррозионных испытаний составляла 6, 12 и 24 ч. После каждого опыта образцы очищали от продуктов коррозии, обезжиривали, снова выдерживали в эксикаторе над CaCl_2 и взвешивали.

Скорость коррозии K рассчитывали по формуле:

$$K = \frac{m_0 - m_1}{S\tau}, \quad (1)$$

где m_0, m_1 – масса образца до и после эксперимента; S – площадь поверхности образца; τ – продолжительность испытаний. Для перевода скорости коррозии в форму глубинного показателя Π использовали уравнение:

$$\Pi = 0,365K/\rho, \quad (2)$$

где ρ – плотность черного металла на основе железа ($7,85 \text{ г/см}^3$). Полученные значения скорости коррозии использовали для расчета защитного эффекта Z :

$$Z = \frac{K_0 - K_{\text{ин}}}{K_0}, \quad (3)$$

где $K_0, K_{\text{ин}}$ – скорость коррозии в растворе в отсутствии и присутствии ИК соответственно.

Состав ИК выбран на основании результатов лабораторных

NEFTEGAZ TERRITORY

СКАЧИВАЙТЕ БЕСПЛАТНО В APP STORE И GOOGLE PLAY



- Доступ к онлайн- и офлайн-мероприятиям, семинарам и круглым столам
- Доклады и презентации прошедших конференций
- Ленты новостей, обзоры и аналитика
- Полезные контакты
- Архив номеров и спецвыпусков журналов «Газовая промышленность» и «Территория НЕФТЕГАЗ»
- Много другой интересной информации



Табл. 1. Результаты химического анализа проб сточных вод
Table 1. Chemical analyses' results for sewage water samples

Место отбора пробы Sampling place	Дата отбора пробы (июль 2017 г.) Sampling date (July 2017)	Месторождение Field					Лаборатория Laboratory				
		pH	Общая концентрация соединений, содержащих S ²⁻ Total S ²⁻		Концентрация хлоридов Chlorides		pH	Общая концентрация соединений, содержащих S ²⁻ Total S ²⁻		Концентрация хлоридов Chlorides	
			моль/дм ³ mol/dm ³	мг/дм ² mg/dm ²	моль/дм ³ mol/dm ³	мг/дм ² mg/dm ²		моль/дм ³ mol/dm ³	мг/дм ² mg/dm ²	моль/дм ³ mol/dm ³	мг/дм ² mg/dm ²
Станция насосной закачки стоков в пласт (выход) Pump injection station (outlet)	19	6,52	1,1·10 ⁻³	34,99	0,010 4	369	6,15	1,2·10 ⁻³	39,29	0,004 9	174
Установка очистки бытовых сточных вод «КСК» (выход) KSK utility sewage treatment facility (outlet)	20	7,25	1,0·10 ⁻⁶	0,032 1	0,006 1	216	6,81	1,7·10 ⁻⁶	0,06	0,002 4	87
Установка очистки сточных вод Flottweg (выход) Flottweg sewage treatment facility (outlet)		7,20	9,5·10 ⁻⁶	0,30	0,008 0	284	6,67	5,2·10 ⁻⁹	0,000 2	0,004 9	174
Емкость сбора стоков 66E-3-1 66E-3-1 sewage collection tank		6,77	-		0,009 0	320	6,19	1,1·10 ⁻³	35,09	0,007 8	276
Полигон закачки в пласт Injection polygon		6,97	7,12·10 ⁻⁵	2,28	0,008 8	312	6,30	7,57·10 ⁻⁵	2,42	0,009 4	332
Установка комплексной подготовки газа (водометанольная смесь) Complex gas treatment plant (water/methanol mixture)	21	5,81	2,1·10 ⁻⁷	0,006 7	0,002 9	103	5,20	2,1·10 ⁻⁷	0,006 8	0,002 6	96
Водоочистной комплекс «Импульс-10-2/20» (сброс) Impulse-10-2/20 water treatment facility (discharge)		6,35	6,8·10 ⁻¹⁰	0,000 0	0,007 0	262	5,93	5,8·10 ⁻⁸	0,001 9	0,007 0	263
Водоочистной комплекс «Импульс-10-2/20» (промывка) Impulse-10-2/20 water treatment facility (washing)		6,24	2,2·10 ⁻⁹	0,000 1	0,003 2	115	5,95	1,2·10 ⁻⁷	0,003 9	0,002 1	76
Установка очистки сточных вод Flottweg (вход) Flottweg sewage treatment facility (inlet)	22	6,46	5,3·10 ⁻⁵	1,70	0,010 0	355	6,24	4,1·10 ⁻⁵	1,32	0,006 7	241
Сепаратор 8 Separator 8	26	5,97	1,8·10 ⁻⁶	0,058 0	0,015 0	533	5,82	1,1·10 ⁻⁷	0,003 5	0,011 2	399
Рефлюкс Reflux		6,79	4,0·10 ⁻⁷	0,013	1,50·10 ⁻⁵	1	6,85	4,3·10 ⁻⁷	0,013 8	3,1·10 ⁻⁵	1

испытаний (в закрытом доступе) и анализа литературных данных [6–13] о противокоррозионной эффективности нитрит-бензоатных композиций (НБ) и солей цинка, а также с учетом стоимости реагентов: 100 мг/дм³ НБ; 9 мг/дм³ Zn²⁺ (18,8 мг/дм³ в пересчете на хлорид

цинка); 2,5 мг/дм³ поверхностно-активного вещества («Катамин АБ»); 50,0 мг/дм³ уротропина. Уротропин введен в качестве поглотителя сероводорода и других соединений, содержащих сульфид-ион; «Катамин АБ» – как биоцидная добавка.

На основании лабораторных испытаний эффективности ингибирования проб сточных вод различными композициями органических ИК [14] и биоцида сделан вывод о том, что ингибиторная защита КОС Южно-Русского НГКМ представляет собой техническое

Таблица 2. Концентрация сульфидов в пробах сточных вод, определенная фотометрическим методом согласно [14]
Table 2. Sulfides contents in sewage water samples determined by photometry according to [14]

Место отбора пробы Sampling place	Дата отбора пробы (июль 2017) Sampling date (July 2017)	Концентрация сульфидов, мг/дм ³ Sulfides, mg/dm ³
Станция насосной закачки стоков в пласт (выход) Pump injection station (outlet)	19	0,039 ± 0,010
Установка очистки бытовых сточных вод «КСК» KSK utility sewage treatment facility	20	0,060 ± 0,015
Установка комплексной подготовки газа (водометанольная смесь) Complex gas treatment plant (water/methanol mixture)	21	0,007 9 ± 0,002 8
Водоочистной комплекс «Импульс-10-2/20» (промывка) Impulse-10-2/20 water treatment facility (washing)		0,010 6 ± 0,002 7
Водоочистной комплекс «Импульс-10-2/20» (сброс) Impulse-10-2/20 water treatment facility (discharge)		< 0,002
Установка очистки сточных вод Flottweg (вход) Flottweg sewage treatment facility (inlet)	22	0,022 ± 0,008
Рефлюкс Reflux	26	0,007 9 ± 0,002 8
Сепаратор 8 Separator 8		0,020 ± 0,005

Таблица 3. Результаты АТФ-теста в пробах сточных вод
Table 3. Results of ATP tests in sewage water samples

Место отбора проб Sampling place	Относительное свечение люминофора, отн. ед. Relative luminance, relative units
Контроль, водопроводная сеть Check sample, water supply system	110
Сепаратор 8 Separator 8	130
Рефлюкс Reflux	140
Установка комплексной подготовки газа (водометанольная смесь) Complex gas treatment plant (water/methanol mixture)	400
Установка очистки бытовых сточных вод «КСК» KSK utility sewage treatment facility	630
Водоочистной комплекс «Импульс-10-2/20» (сброс) Impulse-10-2/20 water treatment facility (discharge)	820
Установка очистки сточных вод Flottweg (вход) Flottweg sewage treatment facility (inlet)	1100
Установка очистки бытовых сточных вод «КСК 150 СМ» KSK 150 SM utility sewage treatment facility	1300
Водоочистной комплекс «Импульс-10-2/20» (промывка) Impulse-10-2/20 water treatment facility (washing)	1700
Станция насосной закачки стоков в пласт (выход) Pump injection station (outlet)	39 000

решение, обеспечивающее снижение скорости коррозионных процессов до проектного значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам лабораторных испытаний коррозионной активности стоков на различных участках системы сбора, утилизации и очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод Южно-Русского НГКМ, а также оценки эффективности ИК ингибиторную защиту можно рассматривать как технически простой и доступный метод снижения коррозионных потерь. Применение совместно с ИК биоцидной добавки обеспечит снижение влияния микробиологических факторов на коррозионные процессы.

Технологическая схема ингибирования предусматривает ввод разработанной ингибиторной композиции на следующих участках канализационно-очистных сооружений:

- в поток водометанольной смеси после разделителей;
- в линию стоков станции подготовки питьевой воды;

– в трубопровод очищенных стоков после станции биологической очистки сточных вод;

– в трубопровод очищенных сточных вод после установки очистки промышленно-дождевых сточных вод (корректировочная дозировка ингибитора).

На каждом из защищаемых участков трубопроводов предусмотрена установка индикаторов скорости коррозии, анализ данных

по которым позволит корректировать дозировку ингибитора в процессе эксплуатации системы защиты от коррозии.

Для минимизации капитальных вложений с учетом результатов выполненной научно-исследовательской работы принято комплексное техническое решение, которое включает ингибирование сточных вод КОС Южно-Русского НГКМ и капитальный ремонт тру-

бопроводов с заменой стальных труб на насосно-компрессорные трубы из стеклопластика и обвязкой насосов из коррозионно-стойких материалов (нержавеющая сталь, полимерный композиционный материал). Его реализация обеспечит снижение скорости коррозии до проектного значения на всех участках системы сбора и очистки сточных вод. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Саакиян Л.С., Ефремов А.П., Соболева И.А. Повышение коррозионной стойкости нефтегазопромыслового оборудования. М.: Недра, 1988.
2. Баранов А.Н., Гусева Е.А., Комова Е.М. Исследование коррозионной стойкости сталей, применяемых для изготовления дражного оборудования для добычи золота // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 1 (21). С. 102–106.
3. Росстандарт. ГОСТ 9.506–87. Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Метод определения защитной способности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=141130> (дата обращения: 28.11.2020).
4. ОСТ 39–099–79. Ингибиторы коррозии. Метод оценки эффективности защитного действия ингибиторов коррозии в нефтепромысловых сточных водах (утв. Министерством нефтяной промышленности СССР 11.01.1980 [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный).
5. ПНД Ф 14.1:2.4.178–02. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфидов, гидросульфидов и сероводорода в пробах питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом (разраб. ЗАО «РОСА», утв. ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» 06.08.2002) [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
6. Кузнецов Ю.И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов в водных растворах // Успехи химии. 2004. Т. 73. № 1. С. 79–93.
7. Кузнецов Ю.И., Вагапов Р.К., Гетманский М.Д. Возможности ингибирования коррозии оборудования и трубопроводов в нефтегазовой промышленности // Коррозия: материалы, защита. 2009. № 3. С. 20–25.
8. Фролова Л.В., Булгаков Р.А., Игошин Р.В., Кузнецов Ю.И. Защита стали от сероводородной коррозии катамином АБ в хлоридных растворах // Коррозия: материалы, защита. 2008. № 9. С. 18–22.
9. Кузнецов Ю.И. Органические ингибиторы коррозии металлов в нейтральных водных растворах // Итоги науки и техники. Серия: Коррозия и защита от коррозии. 1978. С. 159–204.
10. Патент № 2357008 РФ. Способ защиты черных металлов от коррозии в водных солевых средах / О.В. Бояринов, С.М. Губанов, В.И. Карпенко и др. Заявл. 26.02.2008, опубл. 27.05.09 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37550073> (дата обращения: 28.11.2020).
11. Кузнецов Ю.И., Игошин Р.В., Сизая О.И. Ингибиторная защита стали от коррозии в пластовой воде // Коррозия: материалы, защита. 2009. № 2. С. 22–26.
12. Патент № 2517709 РФ. Нейтрализатор сероводорода и способ его использования / А.М. Фахриев, Р.А. Фахриев. Заявл. 13.02.2013, опубл. 27.05.2014 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37447570> (дата обращения: 28.11.2020).
13. Колотыркин Я.М., Флорианович Г.М. Аномальное растворение металлов. Экспериментальные факты и их теоретическое толкование // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 1. С. 14–24.
14. Маршаков А.И., Рыбкина А.А., Чеботарева Н.П. Об эффекте аномального растворения металлов: кинетика растворения железа в кислых сернокислых электролитах при катодной поляризации // Защита металлов. 1997. Т. 33. № 6. С. 590–596.

REFERENCES

- (1) Saakiyan LS, Yefremov AP, Soboleva IA. *Improving Corrosion Resistance of Petroleum Field Equipment*. Moscow: Subsoil [Nedra]; 1988. (In Russian)
- (2) Baranov AN, Guseva EA, Komova EM. Research in noncorrodibility of the steels applied for the manufacturing of dredging equipment in gold mining. *Systems. Methods. Technologies [Sistemy. Metody. Tekhnologii]* 2014; 21(1): 102–106. (In Russian)
- (3) Federal Agency on Technical Regulating and Metrology. *GOST 9.506–87 (state standard). Unified system of corrosion and aging protection. Corrosion inhibitors of metals in water-petroleum environments. Methods of protective ability evaluation*. Available from: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=141130> [Accessed: 28 November 2020]. (In Russian)
- (4) Ministry of Oil Industry of the Soviet Union [Ministerstvo neftyanoy promyshlennosti SSSR]. OST 39–099–79 (industry standard). *Corrosion inhibitors. Method for evaluating the efficiency of corrosion inhibitors' protective effect in the sewage waters of petroleum fields*. [Access restricted]. (In Russian)
- (5) Environmental control and analyses center [FGU «Centr ekologicheskogo kontrolya i analiza»]. *PND F 14.1:2.4.178–02 (federal nature regulatory). Quantitative chemical analyses of waters. Method for measuring the mass concentration of sulfides, hydrosulfides, and hydrogen sulfide in drinking, natural, and sewage water samples by photometry*. [Access restricted].
- (6) Kuznetsov Yul. Physicochemical aspects of metal corrosion inhibition in aqueous solutions. *Russian Chemical Reviews [Uspekhi khimii]*. 2004; 73(1): 79–93. (In Russian)
- (7) Kuznetsov Yul, Vagapov RK, Getmanskiy MD. Opportunities for corrosion inhibition of equipment and pipelines in the petroleum industry. *Corrosion: Materials and Protection [Korroziya: materialy, zashchita]*. 2009; (3): 20–25. (In Russian)
- (8) Frolova LV, Bulgakov RA, Igoshin RV, Kuznetsov Yul. Steel protection from hydrogen sulfide corrosion by catamine AB in chloride solutions. *Corrosion: Materials and Protection*. 2008; (9): 18–22. (In Russian)
- (9) Kuznetsov Yul. Metal corrosion organic inhibitors in neutral water solutions. *Science and Technology Outcomes. Series: Corrosion and Corrosion Protection. [Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Korroziya i zashchita ot korrozii]*. 1978; 159–204. (In Russian)
- (10) Bojarinov OV, Gubanov SM, Karpenko VI, et al. *Protection method of ferrous metals against corrosion in aquatic sault environment*. RU2357008 (Patent) 2008. (In Russian)
- (11) Kuznetsov Yul, Igoshin RV, Sizaya OI. Inhibitor corrosion protection of steel in reservoir water. *Corrosion: Materials and Protection*. 2009; (2): 22–26. (In Russian)
- (12) Fakhriev AM, Fakhriev RA. *Hydrogen sulphide neutraliser and method for use thereof*. RU2517709 (Patent) 2013. (In Russian)
- (13) Kolotyркиn YaM, Florianovich GM. Anomalous metal dissolving. Experimental facts and their theoretical explanation. *Metal Protection [Zashchita metallov]*. 1984; 20(1): 14–24. (In Russian)
- (14) Marshakov AI, Rybkiina AA, Chebotareva NP. On anomalous metal dissolving effect: Iron dissolving kinetics in acidic sulfate electrolytes at cathodic polarization. *Metal Protection*. 1997; 33(6): 590–596. (In Russian)