

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ СВОЙСТВ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Г.Р. Хайдарова, А.С. Тюсенков, Д.Е. Бугай, Г.З. Раскильдина, А.А. Исламутдинова, Г.М. Сидоров

Гузель Раисовна Хайдарова, Айгуль Акрамовна Исламутдинова

Уфимский государственный нефтяной технический университет (филиал в г. Стерлитамак),
просп. Октября, 2, Стерлитамак, Российская Федерация, 453118

E-mail: igdisamova_a@mail.ru, aygul_ru@mail.ru

Антон Сергеевич Тюсенков*, Дмитрий Ефимович Бугай, Гульнара Зинуровна Раскильдина,
Георгий Маркелович Сидоров

Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, д. 1, Уфа, Российская Федерация, 450062

E-mail: anton.tyusenkov@yandex.ru*, debugai@mail.ru, graskildina444@mail.ru, kaskad@ufanet.ru

Ингибиторы коррозии находят широкое применение в нефтегазовой отрасли для защиты технологического оборудования и трубопроводов. Однако эксплуатация данных объектов при воздействии на них коррозионных сред высокой агрессивности и широкое применение новых конструкционных материалов вызывают необходимость разработки все более эффективных реагентов. В связи с этим создание конкурентоспособных ингибиторов, обеспечивающих высокий защитный эффект, является весьма актуальной задачей, решение которой имеет существенное значение для экономики страны. Работа посвящена синтезу новых ингибиторов коррозии на основе четвертичных аммониевых соединений и исследованию эффективности их практического применения при осуществлении противокоррозионной защиты нефтегазового оборудования, изготовленного из углеродистой стали 20 и низколегированных сталей 09Г2С и 13ХФА. Установлено, что в результате синтеза на основе триэтиламина и ортофосфорной кислоты, триэтиламина и 1,3-дихлорпропена, а также конденсации полиэтиленполиамина с 1,2-дихролэтаном, можно получить высокомолекулярные соединения, позволяющие эффективно ингибировать коррозионные процессы в нефтегазовом оборудовании, протекающие по электрохимическому механизму. Для исследования защитных свойств разработанных ингибиторов применяли гравиметрический анализ. Установлено, что некоторые азот- и фосфорсодержащие четвертичные соединения в условиях, приближенных к таковым на нефтяных промыслах, проявляют достаточно высокие эффекты ингибиторной защиты, в связи с чем могут быть рекомендованы в качестве основы при создании новых ингибиторов коррозии трубных сталей в минерализованных пластовых средах. Показано, что максимальные эффекты ингибиторной защиты разработанных реагентов достигаются при относительно невысоких концентрациях в минерализованной пластовой воде, и с повышением их концентрации скорость коррозии испытанных трубных сталей существенно снижается.

Ключевые слова: гравиметрический анализ, ингибитор, коррозия, пластовая вода, реагент, синтез, скорость коррозии, спектрометр, сталь, хроматограмма, сталь 20, 09Г2С, 13ХФА

DEVELOPMENT AND TESTING OF CORROSION INHIBITORS PROPERTIES BASED ON QUATERNARY AMMONIUM COMPOUNDS

G.R. Khaidarova, A.S. Tyusenkov, D.E. Bugay, G.Z. Raskildina, A.A. Islamutdinova, G.M. Sidorov

Guzel R. Khaydarova, Aigul A. Islamutdinova

Department of General Chemical Technology, Ufa State Petroleum Technological University (Sterlitamak branch), Oktyabrya ave., 2, Sterlitamak, 453118, Russia

E-mail: igdisamova_a@mail.ru, aygul_ru@mail.ru

Anton S. Tyusenkov*, Dmitry E. Bugai, Gulnara Z. Raskildina, Georgy M. Sidorov

Department of Oil Equipment Technology, Ufa State Oil Technological University, Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450062, Russia

E-mail: anton.tyusenkov@yandex.ru*, debugai@mail.ru, graskildina444@mail.ru, kaskad@ufanet.ru

Corrosion inhibitors are widely used for protection of technological equipment and pipelines in the oil and gas industry. However, the operation of these objects under the influence of corrosive media of high aggressiveness and the widespread use of new constructive materials call for development of increasingly effective reagents. In this regard, the creation of competitive inhibitors that provide a high protective effect is a very urgent task, the solution of which is of significant importance for the country's economy. The paper considers the synthesis of new corrosion inhibitors based on quaternary ammonium compounds and the study of the effectiveness of their practical application in the implementation of anticorrosion protection of oilfield equipment made of carbon steel 20 and low-alloy steel. It has been established that as a result of the synthesis based on triethanolamine and orthophosphoric acid, triethylamine and 1,3-dichloropropene, and also condensation of polyethylene polyamine with 1,2-dichloroethane, it is possible to obtain high-molecular compounds that effectively inhibit corrosion processes in oil and gas equipment proceeding along the electrochemical mechanism. To study the protective properties of the developed corrosion inhibitors, gravimetric analysis was used. It has been established that some nitrogen- and phosphorus-containing quaternary compounds under conditions similar to those in oil fields exhibit rather high inhibitory protection effects, and therefore can be recommended as a basis for the creation of new inhibitors of corrosion of tubular steels in mineralized reservoir environments. It is shown that the maximum inhibitory protection effects of the developed inhibitors are achieved at their moderate concentrations in the mineralized formation water, and with an increase in the concentration, the corrosion rate of the tested tubular steels is substantially reduced.

Keywords: gravimetric analysis, inhibitor, corrosion, formation water, reagent, synthesis, corrosion rate, spectrometer, steel, chromatogram

Для цитирования:

Хайдарова Г.Р., Тюсенков А.С., Бугай Д.Е., Раскильдина Г.З., Исламутдинова А.А., Сидоров Г.М. Разработка и испытание свойств ингибиторов коррозии на основе четвертичных аммониевых соединений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 7. С. 130–136

For citation:

Khaidarova G.R., Tyusenkov F.S., Bugai D.E., Raskildina G.Z., Islamutdinova A.A., Sidorov G.M. Development and testing of corrosion inhibitors properties based on quaternary ammonium compounds. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 7. P. 130–136

ВВЕДЕНИЕ

В нефтегазовой отрасли широкое распространение в качестве ингибиторов коррозии получили азотсодержащие соединения: амины и их соли, а также четвертичные аммониевые соединения. Показано [1-9], что при введении в структуру аммониевых соединений полярных фрагментов об-

разуются вещества, обладающие хорошими ингибирующими свойствами. Они могут являться эффективными основами для разработки новых ингибиторов коррозии оборудования для добычи, транспортировки и переработки нефти. Однако данные ингибиторы не всегда обеспечивают высокий защитный эффект.

В связи с этим представляется актуальной разработка новых высокоэффективных ингибиторов коррозии на основе доступного нефтехимического сырья, которые могли бы обеспечить требуемый защитный эффект в широком диапазоне условий применения.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Хроматографический анализ продуктов реакции выполняли на хроматографе HRGC 5300 Mega Series «Carlo Erba» с пламенно-ионизационным детектором, газ-носитель – гелий, расход 30 мл/мин, колонка длиной 25 м, температура анализа 50-280 °С с программированным нагревом 8 °С/мин.

Для получения масс-спектров соединений использовали метод ионизации электронным ударом. ЯМР¹Н-спектры полученных реагентов регистрировали на спектрометре «Bruker Avance-400» с рабочей частотой 400 МГц, внутренний стандарт ТМС.

В смесь 0,5 моль (43 г) полиэтиленполиамин (ПЭПА) в 200 мл диметилформаида (ДМФА) добавляли 0,5 моль (49,5 г) 1,2-дихлорэтана (1,2-ДХЭ). Затем при перемешивании нагревали реакционную смесь до 75 °С. По окончании реакции (контроль - газохроматографическим методом) смесь охлаждали до комнатной температуры. Реакционную смесь растворяли в СНСl₃ (250 мл), промывали водой (4 × 50 мл), сушили Na₂SO₄, растворитель упаривали.

Полиэтиленпиперазин (1). Выход 68 %. Спектр ¹Н ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 2,30 (м., 8Н, 4СН₂), 2,48 (м., 4Н, 2СН₂). Спектр ¹³С ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 51,05 (цСН₂), 52,05 (СН₂).

2-[Бис(2-гидроксиэтил)амино]этилдигидрофосфат (2а). Спектр ¹Н ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 2,75-2,85 (м., 6Н, 3СН₂), 3,85-3,91 (м., 4Н, 2СН₂), 4,12 (СН₂О), 4,75 (4ОН). Спектр ¹³С ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 54,20 (СН₂СН₂О), 57,10 (NCH₂), 66,87 (СН₂СН₂О), 59,75 (СН₂ОН).

6-(2-Гидроксиэтил)-1,3,6,2-диоксазафосфокан-2-ол-2-оксид (2б). Спектр ¹Н ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 2,42 (м., 2Н, СН₂), 2,91 (м., 4Н, 2СН₂), 3,75 (м., 2Н, СН₂), 3,79 (м., 4Н, 2СН₂О), 5,73 (2ОН). Спектр ¹³С ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 53,23 (СН₂СН₂О), 57,10 (СН₂), 59,75 (СН₂ОН), 61,21 (СН₂СН₂О).

2,8,9-Триокса-5-аза-1-фосфабицикло[3,3,3]-ундекан-1-оксид (2в). Спектр ¹Н ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 2,90 (м., 6Н, 3СН₂), 4,50-4,65 (м., 6Н, 2СН₂). Спектр ¹³С ЯМР (DMSO-d₆, δ, м.д.): 53,90 (СН₂), 63,31 (СН₂).

Триэтилхлорпропениламмонийхлорид (3).

Спектр ¹Н ЯМР (ацетон D₆, δ, м.д.): 1,42 (с., 9Н, 3СН₃), 3,65-4,12 (м., 8Н, 4СН₂), 6,23 (м., 1Н, СН), 6,91 (м., 1Н, СН). Спектр ¹³С ЯМР (ацетон D₆, δ, м.д.): 7,80 (СН₃), 49,67 (СН₂), 65,03 (СН₂), 121,31 (СН), 124,10 (СН).

Для исследования защитных свойств разработанных ингибиторов коррозии применяли гравиметрический анализ [10-16]. Гравиметрические испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9.905-82 на протяжении 118 ч (сталь 20) и 138 ч (стали 13ХФА и 09Г2С) при комнатной температуре. Модельной средой служила минерализованная пластовая вода со следующим химическим составом, г/л: NaCl – 17; CaCl₂ – 0,14; MgCl₂ – 0,9; NaHCO₃ – 0,633.

Были определены значения массового и глубинного показателей коррозии сталей в модельном растворе пластовой воды с дозированием ингибиторов. На основе полученных результатов были проведены расчеты эффективности каждого реагента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее удобный метод синтеза высокомолекулярного циклического соединения (образец № 1) основан (схема 1) на реакции полиэтиленполиамин (ПЭПА) с 1,2-дихлорэтаном (1,2-ДХЭ) [18].

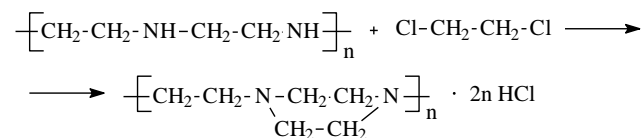


Схема 1
Scheme 1

Показано, что максимальный выход целевого продукта достигается при мольном соотношении исходных реагентов ПЭПА : 1,2-ДХЭ = 2,0 : 1,0 при температуре 75 °С за 4 ч. За ходом реакции наблюдали газохроматографическим методом и визуально (пожелтение раствора, исчезновение слоя дихлорэтана).

Несмотря на эффективность примененной методологии, она включает проведение ряда дополнительных процедур - отгонку воды из реакционной массы и определение с помощью рефрактометра показателя преломления полученного в ходе эксперимента дистиллята. Это связано с использованием в синтезе технического ПЭПА, представляющего собой водный раствор.

Зависимость показателя преломления дистиллята от его объема показывает, что наиболее

чистая фракция продукта образуется в ходе отгонки при 165 °С водного азеотропа (25 % от реакционной массы). По данным предварительного частичного обезвоживания исходного ПЭПА, содержание воды составляет 25 % (3,5 мл от 14 мл реакционной массы, показатель преломления дистиллированной воды равен 1,33).

Пользуясь тем, что все компоненты смеси обладают разным временем удерживания, нами газохроматографическим методом был определен компонентный состав образца № 1. Он включает смесь 1,2-ДХЭ с этилендиамином (ЭДА) – 68 %, пиперазин – 26 %, диэтилтолуамид (ДЭТА) – 2 %, небольшое количество (<1 %) полиэтиленполиамина (ПЭПА) и триэтилететрамина (ТЭТА) (<1 %) с тетраэтиленпентамином (ТЭПА) (<1 %).

Строение образца № 1 доказано спектроскопией ^1H и ^{13}C ЯМР (растворитель – DMSO-d_6).

В спектре ^1H ЯМР данной смеси наблюдаются удвоенные сигналы CH_2 -групп цикла полимера в области 2,30-2,65 м.д., тогда как сигналы исходного линейного соединения проявляются в области 2,8-3,3 м.д. Отсутствие сигнала NH -группы при 2,9 м.д. также подтверждает образование циклического полимера при конденсации ПЭПА с 1,2-ДХЭ.

В спектре ^{13}C ЯМР образца № 1 характерными являются удвоенные сигналы атомов углерода CH_2 -групп в области 51-53 м.д., тогда как сигналы атомов углерода исходного ПЭПА проявляются в области 45 и 50 м.д.

Образец № 2 представляет собой смесь 0,1 % раствора триэтанолamina, 85 % раствора ортофосфорной кислоты и воды в мольном соотношении 1:0,5:10 соответственно. Полученный раствор тщательно перемешивали при комнатной температуре и атмосферном давлении в течение 3 ч по ранее описанной методике [19].

Согласно схеме 2 образуется смесь трех соединений образца № 2.

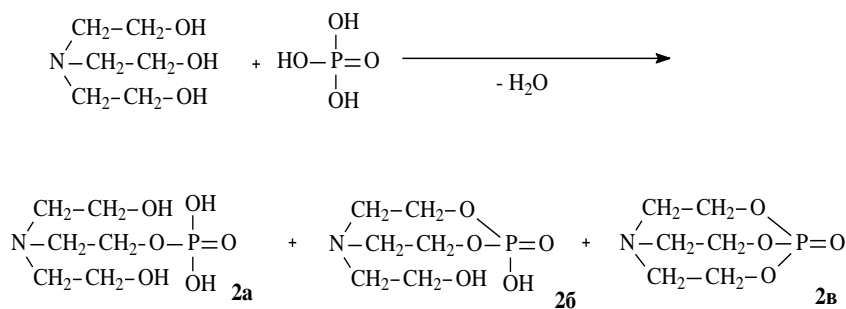


Схема 2
Scheme 2

Строение образца № 2 также доказано спектроскопией ^1H и ^{13}C ЯМР (растворитель – DMSO-d_6). В спектре ^1H ЯМР данной смеси 2а-в наблюдается присутствие сигналов CH_2O -групп в области 3,79 и 4,65 м.д., а также сигнал OH -группы соединений 2 а, б при 4,75 м.д. Данные спектра ^{13}C ЯМР исследуемой смеси подтверждают образование гетероциклических структур 2 а, 2 б и 2 в. На это указывают и сигналы углеродных атомов CH_2O -групп с химическими сдвигами в области 67 м.д., 61 м.д. и 63 м.д. для 2 а, 2 б и 2 в соответственно.

Образец № 3 представляет собой триэтилхлорпропениламмоний хлорид (схема 3), синтезированный по ранее известной методике [20].

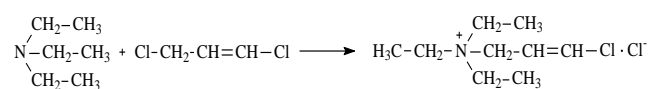


Схема 3
Scheme 3

Лучшие выходы (90 % масс.) получены при взаимодействии триэтиламина (1,1 моль) со смесью *цис*-, *транс*-1,3-дихлорпропенов (1 моль) при температуре 60 °С за 3 ч.

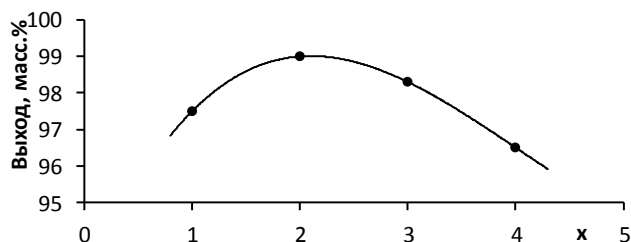


Рис. 1. Влияние мольного соотношения исходных реагентов на выход образца № 3 триэтиламин : 1,3-дихлорпропен = 1,0 : 1,0 (1); 1,1 : 1,0 (2); 1,2 : 1,0 (3); 1,3 : 1,0 (4)

Fig. 1. Influence of the molar ratio of the initial reagents on the yield of sample No. 3. Triethylamine: 1,3-dichloropropene = 1.0 : 1.0 (1); 1.1 : 1.0 (2); 1.2 : 1.0 (3); 1.3 : 1.0 (4)

На выход триэтилхлорпропениламмонийхлорида также влияет температура реакции (рис. 2).

С повышением температуры до 60 °С выход продуктов реакции увеличивается до 95 масс.%. Дальнейшее повышение температуры не влияет на выход образца № 3.

Рассмотрено влияние продолжительности реакции на выход триэтилхлорпропениламмонийхлорида (рис. 3).

Из рис. 3 следует, что с ростом продолжительности реакции происходит увеличение выхода

триэтилдихлорпропениламмонийхлорида. Так, максимальный выход образца № 3 (97 масс.%) достигается при проведении реакции выше 83 °С за 6 ч.

Наиболее эффективными условиями синтеза, обеспечивающими максимальный выход образца № 3, являются: температура реакции 83 °С, продолжительность синтеза 6 ч, соотношение реагентов триэтиламин : 1,3-дихлорпропен = 1,1 : 1,0. Выход триэтилхлорпропениламмонийхлорида – 97 % масс.

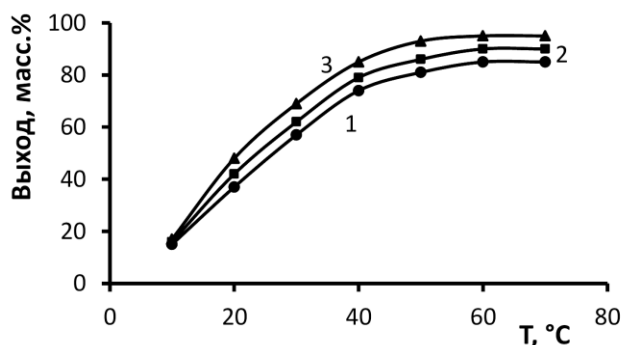


Рис. 2. Влияние температуры на выход образца № 3 триэтиламин : 1,3-дихлорпропен: 1 - 1,0 : 1,0; 2 - 1,05 : 1,0; 3 - 1,1 : 1,0
Fig. 2. Effect of temperature on sample No. 3 yield. Triethylamine: 1,3-dichloropropene: 1 – 1.0 : 1.0; 2 – 1.05 : 1.0; 3 – 1.1 : 1.0

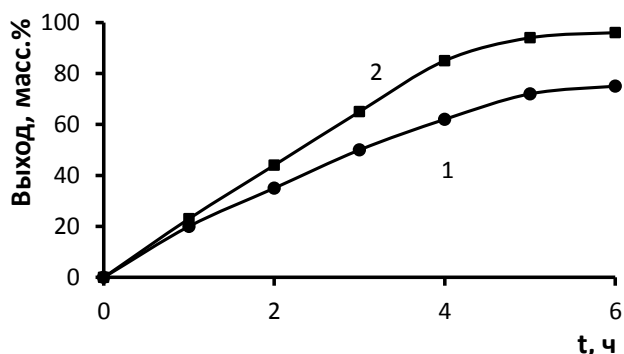


Рис. 3. Зависимость выхода образца № 3 от продолжительности реакции. 1 - 70 °С; 2 - 80 °С
Fig. 3. Dependence of the yield of sample N 3 on the duration of the reaction. 1 - 70 °С; 2 - 80 °С

Строение образца № 3 доказано спектроскопией ¹H и ¹³C ЯМР (растворитель – ацетон D6). Для образовавшейся молекулы характерными являются: сигналы двойной связи в виде дублет-триплета при 6,23 м.д. и дублет при 6,91 м.д. Также структура образца №3 подтверждается наличием протонных сигналов СН₂-групп в виде квартета и дублета при 3,65-4,12 м.д. и трех метильных групп при 1,42 м.д. в виде триплетов.

В таблице представлены основные результаты проведенных исследований по определению

эффективности разработанных ингибиторов коррозии Коразил-1 (образец № 1), Коразил-2 (образец № 2) и Коразил-3 (образец № 3).

Массовый показатель коррозии K_m (г/м²·ч) рассчитывали по формуле

$$K_m = \frac{m_1 - m_0}{S \cdot \tau},$$

где m_0 – масса образца до испытания, г; m_1 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, м²; τ – время выдержки образца в коррозионной среде, ч.

Глубинный показатель коррозии Π (мм/год) рассчитывали по формуле

$$\Pi = \frac{K_m}{\rho} \cdot 8760 \cdot 10^{-3},$$

где ρ – плотность металла, г/см³; 8760 – количество часов в году; 10^{-3} – коэффициент пересчета.

Эффективность определенной дозировки реагента является величиной, на которую снижается глубинный показатель коррозии стали при введении этой дозировки ингибитора в модельную среду [13].

Эффективность действия ингибиторов коррозии рассчитывали по формуле

$$Z = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_1} \cdot 100\%,$$

где Π_1 – глубинный показатель коррозии металла в среде без ингибитора, мм/год; Π_2 – глубинный показатель коррозии металла в среде с ингибитором, мм/год.

Таблица

Максимальная эффективность разработанных ингибиторов для сталей различных классов
Table. The maximum efficiency of the developed inhibitors for steels of various classes

Ингибитор, дозировка	Сталь	Массовый показатель, г/м ² ·ч	Глубинный показатель, мм/г	Эффективность, %
Без ингибитора	20	0,186	0,207	-
	09Г2С	0,143	0,159	-
	13ХФА	0,131	0,146	-
Коразил-1, 40 г/т	20	0,098	0,110	47
	09Г2С	0,001	0,002	99
	13ХФА	0,022	0,025	83
Коразил-2, 80 г/т	20	0,059	0,066	68
	09Г2С	0,058	0,065	59
	13ХФА	0,039	0,044	70
Коразил-3, 60 г/т	20	0,111	0,124	40
	09Г2С	0,023	0,025	84
	13ХФА	0,047	0,053	64

ВЫВОДЫ

Установлено, что синтезированные четвертичные аммониевые соединения в условиях минерализованных пластовых сред нефтяных месторождений проявляют достаточно высокую степень ингибирующего действия, что позволяет использовать их в качестве основы для создания новых ингибиторов коррозии нефтегазового оборудования.

Разработанные ингибиторы проявляют максимальные защитные эффекты при относительно невысоких концентрациях (40-80 г/т) в минерализованных пластовых средах, а с увеличением их дозировки скорость коррозии испытанных трубных сталей еще существенно снижается.

Наибольшую защитную эффективность (99 и 84 %) в случае низколегированной стали 09Г2С проявляют ингибиторы Коразил-1 и Коразил-3 соответственно. Для защиты от коррозии низколегированной стали 13ХФА также рекомендуется применять ингибитор Коразил-1 (защитная эффективность 83 %). Реагент Коразил-2 показал защитную эффективность 68 % (углеродистая качественная сталь 20) и 70 % (сталь 13ХФА), что является перспективным результатом с точки зрения имеющейся реальной возможности улучшения защитных свойств путем дальнейшего совершенствования состава данного ингибитора. Это особенно важно с учетом того, что значительная часть нефтегазового оборудования изготавливается именно из углеродистых качественных и низколегированных сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гареев А.Г.** Основы коррозии металлов. Уфа: УГНТУ. 2011. 256 с.
2. **Цыганкова Л.Е., Фоменков О.А., Есина М.Н.** Защитные свойства ряда ингибиторов сероводородной и углекислотной коррозии. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2009. Т. 52. Вып. 1. С. 66.
3. **Гареев А.Г., Худяков М.А., Кравцов В.В.** Разрушение нефтегазового оборудования. Уфа: УГНТУ, Ин-т доп. проф. образования. 2010. 143 с.
4. **Лаптев А.Б., Спивак А.Е., Черепашкин С.Е., Цыпышев О.Ю., Бугай Д.Е., Ахияров Р.Ж., Рябухина В.Н.** Ингибирующая способность консервационного состава на основе имидазолинов в кислых водных средах. *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов.* 2015. Т. 102. № 4. С. 139-150.
5. **Ахияров Р.Ж., Ибрагимов И.Г., Лаптев А.Б., Латыпов О.Р., Бугай Д.Е., Алаев А.А.** Оценка экономической эффективности комплексной подготовки воды на предприятиях нефтедобычи. *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов.* 2009. № 2. С. 58-63.
6. **Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В.** Коррозия и защита от коррозии. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2002. 336 с.
7. **Бугай Д.Е., Латыпов О.Р., Черепашкин С.Е.** Коррозионно-стойкие материалы. Уфа: Нефтегазовое дело. 2012. 197 с.
8. **Кравцов В.В.** Коррозия и защита внутренней поверхности стальных резервуаров. Уфа: УГНТУ ССП ИДПО. 2011. 169 с.
9. **Ризванов Р.Г., Муликов Д.Ш., Каретников Д.В., Черепашкин С.Е., Ширгазина Р.Ф.** Коррозионная стойкость сварного соединения узла «труба – трубная решетка», полученного сваркой трением. *Нанотехнологии в строительстве.* 2017. Т. 9. № 4. С. 97–115.
10. **Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г.** Изучение коррозионного растрескивания магистральных газонефтепроводов. *Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн.* 2012. № 6. С. 126-146. URL: http://ogbus.ru/authors/Gareev/Gareev_2.pdf
11. **Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г., Хажиев А.Г.** Исследование внутренней поверхности трубопровода системы нефтесбора Северо-Красноярского месторождения. *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов.* 2016. Т. 104. № 2. С. 58-64.

REFERENCES

1. **Gareev A.G.** Bases of corrosion of metals. Ufa: UGNTU. 2011. 256 p. (in Russian).
2. **Tsygankova L.E., Fomenkov O.A., Esina M.N.** Protective properties of same inhibitors of hydrogen sulphide and carbon dioxide corrosion. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2009. V. 52. N 1. P. 66 (in Russian).
3. **Gareev A.G., Khudyakov M.A., Kravtsov V.V.** Destruction of oil and gas equipment: Ufa: UGNTU, In-t dop. obrazovaniya. 2010. 143 p. (in Russian).
4. **Laptev A.B., Spivak A.E., Cherepashkin S.E., Tsypyshev O.Yu., Bugay D.E., Akhiyarov R.Zh., Ryabukhina V.N.** Inhibitory ability of the conservation composition based on imidazolines in acidic aqueous media. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov.* 2015. V. 102. N 4. P. 139-150 (in Russian).
5. **Akhiyarov R.Zh., Ibragimov I.G., Laptev A.B., Latypov O.R., Bugay D.E., Alaev A.A.** Estimation of economic efficiency of integrated water treatment at oil production enterprises. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov.* 2009. N 2. P. 58-63 (in Russian).
6. **Semenova I.V., Florianovich G.M., Khoroshilov A.V.** Corrosion and corrosion protection. M.: FIZMATLIT. 2002. 336 p. (in Russian).
7. **Bugay D.E., Latypov O.R., Cherepashkin S.E.** Corrosion-resistant materials. Ufa: Neftegazovoe delo. 2012. 197 p. (in Russian).
8. **Kravtsov V.V.** Corrosion and protection of the internal surface of steel tanks. Ufa: USPTU. 2011. 169 p. (in Russian).
9. **Rizvanov R.G., Mulikov D.Sh., Karetnikov D.V., Cherepashkin S.E., Shirgazina R.F.** Corrosion resistance of «tube – tubesheet» weld joint obtained by friction welding. *Nanotekhnologii v stroitel'stve.* 2017. V. 9. N 4. P. 97–115 (in Russian). DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-4-97-115.
10. **Gareev A.G., Nasibullina O.A., Rizvanov R.G.** A study of stress corrosion cracking of the main gas and oil pipelines. *Neftegazovoe delo: Elektron. Nauch. Zhurn.* 2012. N 6. P. 126-146. URL: http://ogbus.ru/authors/Gareev/Gareev_2.pdf (in Russian).
11. **Gareev A.G., Nasibullina O.A., Rizvanov R.G., Khazhiev A.G.** Investigation of the internal surface of the pipeline of the oil-gathering system of the North-Krasnoyarsk field. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov.* 2016. V. 102. N 2. P. 58-64 (in Russian).

12. **Tyusenkov A.S.** Chemical resistance of steel 13CrV (rus 13XФА). *J. Chem. Technol. Metallurgy*. 2017. V. 52. Iss. 4. P. 766-772.
13. **Латыпов О.Р., Боев Е.А., Черепашкин С.Е.** Снижение коррозионной активности промышленной среды. Сб. науч. тр. *SWorld*. 2014. Т. 6. Вып. 4 (37). С. 84-86.
14. **Latypov O.R., Bugai D.E., Boev E.V.** Method of controlling electrochemical parameters of oil industry processing liquids. *Chem. Petrol. Eng.* 2015. V. 51. Iss. 3. P. 283-285.
15. **Latypov O.R.** Reduction of Salt Deposits on the Surface of Oilfield Equipment by Management of Electrochemical Parameters of the Medium. *Chem. Petrol. Eng.* 2015. V. 51. Iss. 7. P. 522-525.
16. **Гусейнов Р.М., Раджабов Р.А., Махмудов Х.М., Келбиханов Р.К.** Исследование электрохимической ячейки с границей обратимый электрод – твердый электролит или ионный расплав методами линейной развертки потенциала и тока. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 4-5. С. 57-63. DOI: 10.6060/tcct.20186104-05.5574.
17. **Фаритов А.Т., Рождественский Ю.Г., Ямщикова С.А., Минниханова Э.Р., Тюсенков А.С.** Совершенствование метода линейного поляризационного сопротивления для испытаний ингибиторов коррозии стали. *Металлы*. 2016. № 6. С. 36-43.
18. **Хайдарова Г.Р., Исламутдинова А.А., Дмитриев Ю.К., Сидоров Г.М., Иванов А.Н.** Ингибитор коррозии на основе азот-фосфорсодержащих соединений сред. *Нефтегазовое дело*. 2015. Т. 13. № 4. С. 169-173.
19. **Хайдарова Г.Р., Исламутдинова А.А., Дмитриев Ю.К., Сидоров Г.М., Иванов А.Н.** Ингибитор коррозии нефтепромысловых сред на основе азотсодержащих соединений и отходов хлорорганического производства. *Нефтегазовое дело*. 2015. Т. 13. № 4. С. 163-168.
20. **Хайдарова Г.Р., Исламутдинова А.А., Дмитриев Ю.К., Сидоров Г.М., Иванов А.Н.** Ингибитор коррозии нефтепромысловых сред. *Нефтегазовое дело*. 2015. Т.13. № 4. С. 249-253.
12. **Tyusenkov A.S.** Chemical resistance of steel 13CrV (rus 13XФА). *J. Chem. Technol. Metallurgy*. 2017. V. 52. Iss. 4. P. 766-772.
13. **Latypov O.R., Boev E.A., Cherepashkin S.E.** Reduction of corrosive activity of the oilfields. Sb. Nauch. Trudov. *SWorld*. 2014. V. 6. Iss. 4(37). P. 84 (in Russian).
14. **Latypov O.R., Bugai D.E., Boev E.V.** Method of controlling electrochemical parameters of oil industry processing liquids. *Chem. Petrol. Eng.* 2015. V. 51. Iss. 3. P. 283-285.
15. **Latypov O.R.** Reduction of Salt Deposits on the Surface of Oilfield Equipment by Management of Electrochemical Parameters of the Medium. *Chem. Petrol. Eng.* 2015. V. 51. Iss. 7. P. 522-525.
16. **Guseynov R.M., Radzhabov R.A., Makhmudov Kh.M., Kelbikhanov R.K.** Study of an electrochemical cell with a reversible electrode boundary - a solid electrolyte or an ion melt by linear potential and current scanning methods. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 4-5. P. 57-63 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20186104-05.5574.
17. **Faritov A.T., Rozhdestvenskii Yu.G., Yamshchikova S.A., Minnikhanova E.R., Tyusenkov A.S.** Improvement of the linear polarization resistance method for testing steel corrosion inhibitors. *Russian Metallurgy*. 2016. N 11. P. 1035-1041. DOI: 10.1134/S0036029516110070.
18. **Khaydarova G.R., Islamutdinova A.A., Dmitriev Yu.K., Sidorov G.M., Ivanov A.N.** Corrosion inhibitor based on nitrogen-phosphorus-containing media compounds. *Neftegazovoe delo*. 2015. V. 13. N 4. P. 169-173 (in Russian).
19. **Khaydarova G.R., Islamutdinova A.A., Dmitriev Yu.K., Sidorov G.M., Ivanov A.N.** Inhibitor corrosion of oilfields based on nitrogen-containing compounds and wastes of organochlorine production. *Neftegazovoe delo*. 2015. V. 13. N 4. P. 163-168 (in Russian).
20. **Khaydarova G.R., Islamutdinova A.A., Dmitriev Yu.K., Sidorov G.M., Ivanov A.N.** Inhibitor of corrosion of oilfield environments. *Neftegazovoe delo*. 2015. V. 13. N 4. P. 249-253 (in Russian).

Поступила в редакцию 27.11.2017
Принята к опубликованию 14.05.2018

Received 27.11.2017
Accepted 14.05.2018