

Р. Р. Баянов (магистрант)¹, Н. Т. Муфтеева (асп.)², А. В. Фахреева (к.т. н., н.с.)²,
Н. А. Сергеева (к.х.н., зав. лаб.)³, В. В. Рагулин (к.т.н., гл. техн.)³,
А. Г. Телин (к.х.н., зам. дир.)³, В. А. Докичев (д.х.н., зав. лаб.)²

СИНТЕЗ ИНГИБИТОРОВ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ АМИДОВ И ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ТАЛЛОВОГО МАСЛА

¹ Уфимский университет науки и технологий, кафедра высокомолекулярных соединений
450076, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32; e-mail: radik_bayanov1@mail.ru

² Уфимский Институт химии УФИЦ РАН, лаборатория биоорганической химии и катализа
450054, г. Уфа, пр. Октября, 69; e-mail: alsu.allagulova@mail.ru

³ Уфимский научно-технический центр, лаборатория химических исследований
450078, г. Уфа, ул. Кирова, д. 99, корп. 3, а/я 74; e-mail: sergeevana@ufntc.ru

R. R. Bayanov¹, N. T. Mufteeva², A. V. Fakhreeva², N. A. Sergeeva³,
V. V. Ragulin³, A. G. Telin³, V. A. Dokichev²

SYNTHESIS OF CARBON DIOXIDE CORROSION INHIBITORS BASED ON AMIDES AND ESTERS OF TALL OIL FATTY ACIDS

¹ Ufa University of Science and Technology
32, Z. Validi Str., 450076, Ufa, Russia; e-mail: radik_bayanov1@mail.ru

² Ufa Institute of Chemistry of the UFRC the RAS
69, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia; e-mail: alsu.allagulova@mail.ru

³ Ufa Scientific and Technical Center
99/3, Kirova Str., 450078, Ufa, Russia; e-mail: sergeevana@ufntc.ru

На основе жирных кислот талловых масел (ЖКТМ) и этаноламинов отечественного производства синтезированы моно- и диэтаноламиды, а также триэтаноламинные эфиры ЖКТМ. Амиды ЖКТМ получали в присутствии гидроксида натрия при температуре 145 °С без использования растворителя, а триэтаноламинные эфиры ЖКТМ – методом азеотропной отгонки воды в толуоле в присутствии каталитических количеств серной кислоты с хорошими выходами. Показано, что полученные соединения проявляют эффективные свойства в качестве ингибиторов углекислотной коррозии и обладают поверхностной активностью, что позволяет считать их перспективными для применения в нефтяной промышленности.

Ключевые слова: жирные кислоты таллового масла; моно- и диэтаноламиды ЖКТМ; ингибитор углекислотной коррозии; поверхностно-активные свойства; понизитель поверхностного натяжения; скважинное оборудование; триэтаноламинные эфиры ЖКТМ; углеродистая сталь; этаноламины; эффективность ингибирования.

Mono- and diethanolamides and triethanolamine esters of fatty acids of tallow oils have been synthesized on the basis of fatty acids of tallow oils and ethanolamines of domestic production. Amides of fatty acids of tallow oils were obtained in the presence of sodium hydroxide at a temperature of 145 °C without the use of a solvent, and triethanolamine esters of fatty acids of tallow oils were obtained by azeotropic distillation of water in toluene in the presence of catalytic amounts of sulfuric acid with good yields. It was shown that the resulting compounds exhibit effective properties as inhibitors of carbon dioxide corrosion and have surface activity, which allows them to be considered promising for use in the oil industry.

Key words: borehole equipment; carbon dioxide corrosion inhibitor; carbon steel; ethanolamines; inhibition efficiency; mono- and diethanolamides of fatty acids of tallow oils; surface-active properties; surface tension reducing agent; tall oil fatty acids; triethanolamine esters of fatty acids of tallow oils.

Дата поступления 08.08.23

Работа выполнена в рамках Государственного задания Уфимского института химии УФИЦ РАН по теме №122031400260-7 «Синтез биологически активных веществ на основе природных соединений. Создание экологически чистых материалов и технологий».

Коррозия стали является одной из самых распространенных проблем в нефтяной и газовой промышленности. Она встречается практически на всех производственных и транспортных объектах ¹. Непрерывная коррозионная агрессивность прокачиваемых флюидов может уменьшить толщину стенок, снизить прочность трубопроводов и привести к авариям с утечками ². Цена отказа из-за внутренней коррозии огромна с точки зрения как прямых затрат (таких как ремонт/замена и потери мощности производства), так и косвенных – за счет негативного воздействия на окружающую среду и на перерабатывающие отрасли ³. Ежегодно глобальные затраты, возникающие из-за коррозии нефтепромыслового оборудования, оцениваются примерно в 2.5 трлн \$. Следует отметить, что ущерб от нее может быть снижен до 35% за счет внедрения антикоррозионных мероприятий ⁴.

Углеродистая сталь является наиболее экономичным конструкционным материалом, используемым в трубопроводах для нефтегазовой промышленности. Несмотря на то, что исследованы многие коррозионностойкие сплавы, углеродистая сталь по-прежнему остается наиболее часто используемой с точки зрения экономической выгоды ³. Коррозия в нефте- и газопроводах возникает при контакте стали с водной средой. Известно, что на ранних стадиях добыча сырой нефти на недавно открытых месторождениях обычно сопровождается получением малообводненной скважинной продукции. К сожалению, по мере дальнейшей разработки нефтяных и газовых месторождений количество добываемой пластовой воды увеличивается, и, как следствие, возрастает ущерб от коррозии. К тому же, пластовая вода содержит растворенные CO_2 и H_2S , которые усиливают коррозионные процессы. Сочетание таких факторов, как высокая обводненность продукции, наличие растворенных солей, кислых газов, а также высокая температура и повышенное давление, приводит к высоким коррозионным разрушениям стали в НКТ, скважинном оборудовании и трубопроводах ⁴.

Одним из наиболее практичных и экономически эффективных методов борьбы с коррозией в нефтегазовой промышленности является использование ингибиторов, которые защищают поверхность металлов и при добавлении в агрессивную среду даже в малых концентрациях замедляют коррозионное разрушение ⁵.

The work was carried out within the framework of the State task of the Ufa Institute of Chemistry of the UFRC of RAS on the topic No.122031400260-7 «Synthesis of biologically active substances based on natural compounds. Creation of environmentally friendly materials and technologies».

Результаты и обсуждение

В настоящее время все больше внимания уделяется разработке и использованию недорогих, биоразлагаемых и экологически безопасных составов ингибиторов ^{6–9}. Ингибитор коррозии обычно используется в небольших концентрациях, при этом существенно снижается скорость коррозии за счет ингибирования реакции металла с окружающей средой.

Известно, что органические соединения, содержащие гетероатомы (такие как фосфор, сера, кислород и азот), способны ингибировать коррозию. Их эффективность объясняется наличием неподеленной пары π -электронов в молекуле, благодаря чему они легко осаждаются на поверхности металла. Адсорбция таких соединений на поверхности металла снижает скорость коррозии ¹⁰.

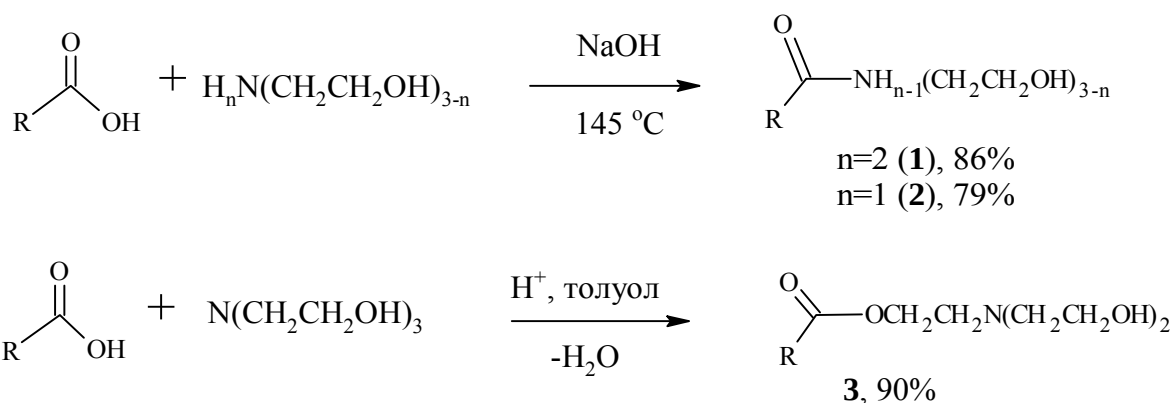
Целью настоящей работы является получение доступных ингибиторов коррозии на основе продуктов переработки сырого таллового масла из древесины лиственных пород (жирных кислот талловых масел – ЖКТМ) и малотоксичных этаноламинов отечественного производства, что является решением актуальной задачи импортозамещения ¹¹.

Для ЖКТМ, используемых в синтезе поверхностно-активных соединений, установлены следующие характеристики:

- кислотное число – 190 мг КОН на 1 г кислоты (ГОСТ 17823.1-72);
- иодное число – 160 г иода на 100 г кислоты (ГОСТ 17823.2-72);
- средняя молекулярная масса – 287 г/моль.

В ходе экспериментов взаимодействием моно-, ди- и триэтаноламинов с жирными кислотами таллового масла в присутствии катализатора получены перспективные реагенты для нефтяной промышленности. Моно- и диэтаноламиды ЖКТМ синтезировали в присутствии гидроксида натрия при температуре 145 °С (**1**, **2**) без использования растворителя с выходами 86 и 79 % соответственно. Эфиры триэтаноламина и ЖКТМ (**3**) получали методом азеотропной отгонки воды в толуоле в присутствии каталитических количеств серной кислоты (схема) с выходом 90%.

Строение полученных амидов и эфира ЖКТМ подтверждено методом ИК-спектроскопии (рис. 1).



Схема

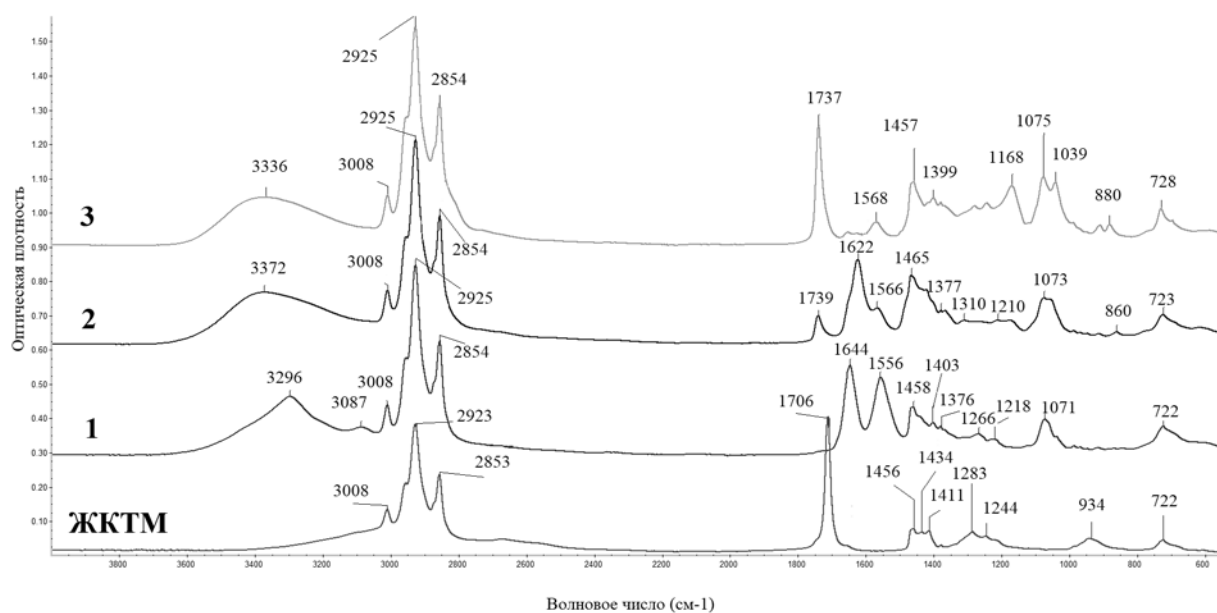


Рис. 1. ИК-спектры моно-, диэтаноламидов и триэтаноламиновых эфиров ЖКТМ

Для ЖКТМ характерна интенсивная полоса поглощения в диапазоне $1760\text{--}1680\text{ см}^{-1}$, имеющая высокую интенсивность (с пиковым значением 1706 см^{-1}), которая соответствует валентным колебаниям группы $\text{C}=\text{O}$ карбоновых кислот. Очень слабая полоса поглощения в диапазоне $1445\text{--}1430\text{ см}^{-1}$ указывает на наличие CH_2 -группы, расположенной между двумя кратными связями, т. е., группы $\text{C}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}$. Таким образом, можно сделать вывод, что в смеси ЖКТМ, помимо линолевой и олеиновой кислот, присутствует ненасыщенная линоленовая кислота, имеющая две кратные связи.

В спектре этаноламидов ЖКТМ отсутствует полоса поглощения, соответствующая карбоксильной группе (1706 см^{-1}), наблюдаются полосы при $1644\text{--}1622\text{ см}^{-1}$ («I амидная полоса») и при $1556\text{--}1566\text{ см}^{-1}$ («II амидная полоса»). В ИК-спектре эфира триэтаноламина и ЖКТМ наблюдается поглощение при 1737 см^{-1} , которое соответствует валентным колебаниям группы $\text{C}=\text{O}$ в сложных эфирах.

С целью определения возможности использования полученных соединений **1**, **2** и **3** в составе ингибиторов коррозии протестировали их водно-спиртовые растворы при концентрации 25 мг/л гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ Р 9.905-2007. В качестве минерализованной среды применяли модель пластовой воды Узеньского месторождения следующего ионного состава: $\text{Ca}^{2+} - 1621$, $\text{Mg}^{2+} - 195$, $\text{Na}^+ - 17885$, $\text{Cl}^- - 30701$, $\text{HCO}_3^- - 535\text{ мг/л}$ (общая минерализация 50936 мг/л), приготовленную с использованием солей CaCl_2 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaCl и NaHCO_3 . Для вытеснения кислорода из минерализованной среды барботировали углекислый газ до начала эксперимента в течение 30 мин. Время эксперимента составляло 6 ч при температуре 60°C . Защитная способность ингибиторов, оцененная по изменению скоростей коррозии, отражена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, полученные нами соединения проявляют свойства ингибиторов углекислотной коррозии. Зависимость эффективности ингибирования коррозии от природы соединений

1, 2 и 3 показали, что степень защиты стали при использовании моноэтаноламидов ЖКТМ 1 и триэтаноламиновых эфиров ЖКТМ 3 превышает 80%.

Учитывая, что ингибиторы коррозии адсорбционного действия, как правило, обладают поверхностно-активными свойствами, с целью исследования поверхностной активности моно- и диэтаноламидов ЖКТМ и триэтаноламиновых эфиров ЖКТМ было измерено поверхностное натяжение на границе раздела фаз керосин/пресная вода стагмометрическим методом с использованием серии водных растворов этаноламидов и эфиров ЖКТМ с концентрацией 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.30, 0.50, 0.80 и 1.00 % мас. (рис. 2).

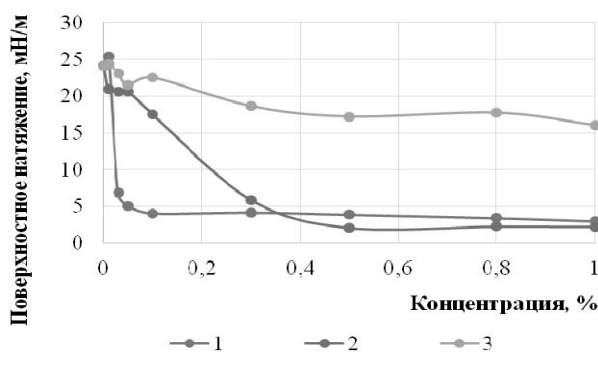


Рис. 2. Изотермы поверхностного натяжения для моноэтаноламидов (1), диэтаноламидов (2) и триэтаноламиновых эфиров ЖКТМ (3) на границе раздела фаз керосин/вода

Из рис. 2 видно, что наиболее эффективными ПАВ со значениями поверхностного натяжения 5.1 и 5.9 мН/м при критических концентрациях мицеллообразования 0.05 и 0.3 % являются моно- и диэтаноламиды ЖКТМ, соответственно. Триэтаноламиновые эфиры ЖКТМ снижают поверхностное натяжение незначительно; в то же время необходимо отметить, что они проявляют достаточно

неплохие результаты по ингибированию углекислотной коррозии.

Экспериментальная часть

Для синтеза моно- и диэтаноламидов ЖКТМ и триэтаноламиновых эфиров ЖКТМ использовали жирные кислоты таллового масла марки «ч» (АО «Сегежский ЦБК», высший сорт), моноэтаноламин (ПАО «КазаньОргСинтез»), диэтаноламин марки «ч» (ПАО «КазаньОргСинтез»), триэтаноламин марки «ч» (ООО «Синтез ОКА»,), о-ксилол марки «чда» (АО «Экос-1»), толуол марки «чда» (АО «База №1 химреактивов»), серная кислота марки «чда» (АО «База №1 Химреактивов»).

Для приготовления минерализованных растворов использовали дистиллированную воду (ГОСТ 6709-72), CaCl_2 марки «чда» (Германия «AppliChem Panreac»), $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки «чда» (ГОСТ 4209-77), $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ марки «хч» (ООО «НПФ Невский химик», ГОСТ 4108-72), NaHCO_3 марки «чда» (ООО «Завод химических реактивов «Донецк-реактив», ГОСТ 4201-79); Na_2SO_4 марки «чда» (ООО «ТД Малиновое озеро», ГОСТ 4176-66) NaCl марки «чда» (ООО «МЗХР», ГОСТ 4233-77).

ИК спектры записывали на спектрометре Фурье «Nicoletis 10» с математическим обеспечением «OMNIC». Для регистрации спектров использовали методику нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) на алмазной приставке в интервале частот 400-4000 см^{-1} .

Общая методика взаимодействия ЖКТМ с этаноламинами

В трехгорлую колбу с мешалкой и термометром загружали расчетное количество ЖКТМ и этаноламина. Реакционную массу нагревали до

Таблица 1

Эффективность защиты стальных образцов от углекислотной коррозии в присутствии соединений 1, 2 и 3, %

Соединение	№ пластины	Площадь, м^2	Потеря массы Δm , г	Скорость коррозии V_k , $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Скорость коррозии $V_{k \text{ ср.}}$, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Скорость коррозии, $V_{k1 \cdot 12}$, мм/год	Степень защиты, Z, %
Фон	1	0.001154	0.0163	2.3542	2.3702	2.6546	-
	2	0.001118	0.0163	2.4290			
	3	0.001139	0.0159	2.3273			
1	1	0.001111	0.0026	0.3902	0.4656	0.5215	80.4
	2	0.001112	0.0037	0.5545			
	3	0.001069	0.0029	0.4521			
2	1	0.001114	0.0027	0.5240	0.5035	0.5640	78.8
	2	0.001067	0.0040	0.6246			
	3	0.001072	0.0031	0.5044			
3	1	0.001123	0.0026	0.3858	0.3350	0.3752	85.9
	2	0.001095	0.0018	0.2740			
	3	0.001158	0.0024	0.3453			

100 °С и добавляли NaOH в качестве катализатора. После этого реакционную смесь медленно нагрели до 145 °С и перемешивали ее при этой температуре в течение 8 ч.

Моноэтаноламиды ЖКТМ (1). К 143 г (0.5 моль) ЖКТМ добавили 30.54 г (0.5 моль) моноэтанолamina, нагрели до 100 °С и добавили 0.5 г (0.0125 моль) NaOH. Реакционную смесь медленно нагрели до 145 °С и выдержали при этой температуре в течение 8 ч. Выход 86%.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 1071 (C–OH), 1458 (амид III), 1556 (амид II), 1644 (амид I); 2854, 2925 (CH₂, CH₃), 3008 (CH), 3296 (O–H, N–H).

Диэтаноламиды ЖКТМ (2). К 114.8 г (0.4 моль) ЖКТМ добавили 42.04 г (0.4 моль) диэтанолamina, нагрели до 100 °С и добавили 0.4 г (0.01 моль) NaOH. Реакционную смесь медленно нагрели до 150 °С и выдержали при этой температуре в течение 8 ч. Выход 78%.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 1073 (C–OH), 1465 (амид III), 1622 (амид II), 1739 (амид I), 2854, 2925 (CH₂, CH₃), 3008 (CH), 3372 (O–H, N–H).

Триэтаноламиновые эфиры ЖКТМ (3). В круглодонную трехгорлую колбу объемом 250 см³, снабженную насадкой Дина-Старка и обратным холодильником, загрузили 45 мл толуола, 86.1 г (0.3 моль) ЖКТМ, 44.7 г (0.3 моль) триэтанолamina и добавили 4 капли концентрированной серной кислоты. Полученную массу кипятили до прекращения выделения воды. Выход 90%.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 1075 (C–OH), 1737 (C=O), 2854, 2925 (CH₂, CH₃), 3008 (CH), 3336 (O–H).

Испытание полученных реагентов на основе ЖКТМ в качестве ингибиторов углекислотной коррозии (ГОСТ Р 9.905-2007). Влияние продуктов синтеза на коррозию стали 20 оценивали гравиметрическим методом. Для измерения скорости коррозии использовали образцы стали 20 размером 20×25×2 мм. Стальные пластины зачищали шкуркой М40, проводя ею по поверхности в одном направлении вдоль длины пластины до появления металлического блеска. После шлифования определяли полную поверхность образцов, измеряя с помощью штангенциркуля с точностью до 0.1 мм длину, ширину и толщину образца. Площадью отверстий пренебрегали. Пластины обезжиривали ацетоном, после обезжиривания последующие операции с образцами проводили с помощью пинцета. Пластины высушивали фильтровальной бумагой, упаковывали в нее, выдерживали в эксикаторе с влагопоглотителем в течение 1 ч и взвешивали

на аналитических весах. Результат взвешивания в граммах записывали с точностью до четвертого десятичного знака. Подготовленные пластины хранили в эксикаторе.

Испытания проводили при 60 °С в течение 6 ч в смеси пластовой воды Узеньского месторождения и морской воды в соотношении 4:1. Солевой состав моделей пластовой и морской воды представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Солевой состав
коррозионно-агрессивной среды**

Содержание, г/л	Модель пластовой воды	Модель морской воды
NaCl	37.1160	3.8588
CaCl ₂	7.2490	1.0826
MgCl ₂ ·6H ₂ O	8.7730	6.1383
SrCl ₂ ·6H ₂ O	0.4260	-
BaCl ₂ ·2H ₂ O	0.0854	-
NaHCO ₃	0.4020	0.3192
Na ₂ SO ₄	-	4.0356

В водный раствор, содержащий 25 мг/л активной основы, на протяжении всего опыта равномерно подавали углекислый газ. Скорость равномерной коррозии K (г/(м²·ч)) и защитный эффект Z (%) вычисляли по формулам:

$$K = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau};$$

$$Z = \frac{V_{k0} - V_{k1}}{V_{k0}} \cdot 100,$$

где m_0, m_1 – масса образца до и после испытания соответственно, г;

S – площадь поверхности образца, м²;

τ – время экспозиции, ч;

V_{k0} – скорость коррозии образца в отсутствии ингибитора, г/(м²·ч);

V_{k1} – скорость коррозии образца в присутствии ингибитора, г/(м²·ч);

Z – защитный эффект, %.

Определение межфазного натяжения водных растворов реагентов на границе с керосином. Значения поверхностного натяжения растворов ПАВ на границе с керосином определяли по ГОСТ Р 50097 с помощью сталагмометра марки «СТ-2»¹².

Авторы выражают признательность д. х. н., проф. УУНУТ Р. М. Ахметханову за анализ и обсуждение полученных результатов.

Литература

1. Popoola L.T., Grema A.S., Latinwo G.K., Gutti B., Balogun A.S. Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation // *International Journal of Industrial Chemistry*.– 2013.– V.4, №35.– Pp.1-15.
2. Zhao W., Zhang T., Wang Y., Qiao J., Wang Z. Corrosion Failure Mechanism of Associated Gas Transmission Pipeline // *Materials*.– 2018.– V.11.– Art.no.1935.
3. Kahyarian A., Achour M., Nesic S. CO₂ corrosion of mild steel. Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies.– Cambridge: Woodhead Publishing, 2017.– Pp.149-190.
4. Al-Janabi Y.T. An Overview of Corrosion in Oil and Gas Industry: Upstream, Midstream, and Downstream Sectors. Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry.– New-York: Wiley, 2020.– Pp.1-39.
5. West J.M. Basic Corrosion and Oxidation.– New York: Halsted Press, 1980.– 248 p.
6. Аминова Э.К., Фомина В.В. Соли сульфатированных амидов олеиновой кислоты как ингибиторы кислотной коррозии // *Химия и технология топлив и масел*.– 2021.– №3.– С.36-38.
7. Вульфович С.Л., Акчурина О.В., Лобов А.Н., Сергеева Н.А., Телин А.Г., Спирихин Л.В., Докичев В.А. Каталитическое взаимодействие рапсового масла с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом в присутствии катионита КУ-2-8 и NaOH // *Башк. хим. ж.*– 2022.– Т.29, №3.– С.68-77.
8. Вульфович С.Л., Сергеева Н.А., Рагулин В.В., Телин А.Г., Докичев В.А. Разработка нового комплексного ингибитора коррозии и солеотложения // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*.– 2023.– Вып.1(141).– С.35-49.
9. Вульфович С.Л., Сергеева Н.А., Рагулин В.В., Телин А.Г., Докичев В.А. Получение эмульгатора обратных эмульсий, обладающего свойствами ингибитора коррозии // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*.– 2023.– Вып.2(142).– С.20-30.
10. Verma D.K., Dewangan Y.A., Dewangan K., Asatker A. Heteroatom-Based Compounds as Sustainable Corrosion Inhibitors: An Overview // *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*.– 2021.– V.7.– Art.no.15.
11. Халбашкеев А.В. Импортозамещение реагентов: первые успехи и первые трудности // *Нефтегазовая промышленность*.– 2023.– №1.– С.92-96.
12. ГОСТ Р 50097-92. Вещества поверхностно-активные. Определение межфазного натяжения. Метод объема капли.– М.: Издательство стандартов, 1992.– 19 с.

References

1. Popoola L.T., Grema A.S., Latinwo G.K., Gutti B., Balogun A.S. [Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation]. *International Journal of Industrial Chemistry*, 2013, vol.4, no.35, pp.1-15.
2. Zhao W., Zhang T., Wang Y., Qiao J., Wang Z. [Corrosion Failure Mechanism of Associated Gas Transmission Pipeline]. *Materials*, 2018, vol.11, art.no.1935.
3. Kahyarian A., Achour M., Nesic S. [CO₂ corrosion of mild steel. Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies]. Cambridge, Woodhead Publishing, 2017, pp.149-190.
4. Al-Janabi Y.T. [An Overview of Corrosion in Oil and Gas Industry: Upstream, Midstream, and Downstream Sectors. Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry]. New-York, Wiley Publ., 2020, pp.1-39.
5. West J.M. [Basic Corrosion and Oxidation]. New York, Halsted Press, 1980, 248 p.
6. Aminova E.K., Fomina V.V. *Soli sul'fatirovannykh amidov oleinovo kisloty kak ingibitory kislотноi korrozii* [Salts of Sulfated Oleic acid Amides as Acid Corrosion Inhibitors]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel* [Chemistry and technology of fuels and oils], 2021, no.3, pp.36-38.
7. Vul'fovich S.L., Akchurina O.V., Lobov A.N., Sergeeva N.A., Telin A.G., Spirikhin L.V., Dokichev V.A. *Kataliticheskoe vzaimodeistvie rapsovogo masla s 2-[(2-aminoetil)amino]etanolom v prisutstvii kationita KU-2-8 i NaOH* [Catalytic interaction of rapeseed oil with 2-[(2-aminoethyl)amino]ethanol in the presence of cationite KU-2-8 and NaOH]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2022, vol.29, no.3, pp. 68-77.
8. Vul'fovich S.L., Sergeeva N.A., Ragulin V.V., Telin A.G., Dokichev V.A. *Razrabotka novogo kompleksnogo ingibitora korrozii i soleotlozheniya* [Development of a new complex corrosion and salt deposition inhibitor]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov* [Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products], 2023, is.1(141), pp.35-49.
9. Vul'fovich S.L., Sergeeva N.A., Ragulin V.V., Telin A.G., Dokichev V.A. *Poluchenie emul'gatora obratnykh emul'siy, obladaushchego svoystvami ingibitora korrozii* [Obtaining an emulsifier of inverse emulsions with a corrosion inhibitor properties]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov* [Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products], 2023, is.2(142), pp. 20-30.
10. Verma D.K., Dewangan Y.A., Dewangan K., Asatker A. [Heteroatom-Based Compounds as Sustainable Corrosion Inhibitors: An Overview]. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 2021, vol.7, art.no.15.
11. Khalbashkeev A.V. *Importozameshchenie reagentov: pervye uspekhi i pervye trudnosti* [Import substitution of reagents: the first successes and the first difficulties]. *Neftgazovaya promyshlennost'* [Oil and gas industry], 2023, no.1, pp.92-96.
12. GOST R 50097-92. *Veshchestva poverkhnostno-aktivnyye. Opredeleniye mezhfaznogo natyazheniya. Metod obyema kapli* [State Standart GOST R 50097-92. Surfactants. Determination of interfacial tension. Drop volume method]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1992, 19 p.