

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО В СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

М.Е. Леонтьева, М.О. Агаркова, Ю.В. Демидова, П.А. Демидов, С.В. Дронов

Мария Евгеньевна Леонтьева (ORCID 0000-0002-6149-1320)*, Мария Олеговна Агаркова (ORCID 0009-0000-3567-5567), Юлия Валерьевна Демидова (ORCID 0000-0003-2608-0259), Павел Александрович Демидов (ORCID 0000-0003-1938-1192), Сергей Вячеславович Дронов (ORCID 0009-0002-8028-9168)

Кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), пр. Московский, 26, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190013

E-mail: mevgenyevna@bk.ru*, maria_agarkova2003@mail.ru, demidova@spbti.ru, pa.demidov@spbti.ru, dronov@spbti.ru

Данная обзорная статья посвящена проблеме коррозии технологического оборудования, такого как: колонны установок первичной переработки нефти, скважинные насосы, обсадные колонны, резервуары хранения нефти, системы трубопроводов, в нефтепромышленности, в частности, в условиях эксплуатации в сероводородсодержащих средах. Рассматривается способ защиты от коррозии наиболее уязвимых элементов технологических схем с использованием метода изменения состава среды: введения в рабочие жидкости специальных реагентов, замедляющих реакции разрушения металлов – ингибиторов коррозии. Анализ литературных источников выявил наличие множества научных коллективов, участвующих в модификации имеющихся и получению новых ингибирующих сероводородную коррозию композиций. Особое внимание уделяется азотсодержащим ингибиторам, наиболее часто составляющим предмет интереса мирового научного сообщества коррозионистов по разработке ингибиторов, поскольку демонстрируют высокую эффективность в предотвращении коррозии, вызванной воздействием сероводорода. Авторами рассматриваются такие классы соединений, как: высшие алифатические моно- и диамины, амиды, амидоамины (в том числе имидазолины), азометины (основания Шиффа), четвертичные аммонийные соединения, фенольные основания Манниха, эфирамины и азолы. В статье подробно описываются особенности химического состава разработанных реагентов, свойства ингибиторов и их способность снижать скорость общей коррозии и наводороживания металлов в агрессивных средах нефтепереработки. Данная обзорная статья позволит систематизировать имеющиеся научные труды, посвященные методу защиты оборудования нефтеперерабатывающей отрасли с применением азотсодержащих органических соединений, и может быть использована как основа для дальнейших научных изысканий в сфере получения промышленно важных продуктов, в том числе из отходов действующих производств.

Ключевые слова: нефтепромышленность, сероводородсодержащие среды, сероводородная коррозия, защита от коррозии, ингибитор коррозии, защитный эффект, эффективность ингибиторов, химический состав ингибиторов, классификация ингибиторов

Для цитирования:

Леонтьева М.Е., Агаркова М.О., Демидова Ю.В., Демидов П.А., Дронов С.В. Ингибиторы коррозии для защиты технологического оборудования нефтепромышленности, эксплуатируемого в сероводородсодержащих средах (Обзор). *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 7. С. 6–19. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7213.

For citation:

Leont'yeva M.E., Agarkova M.O., Demidova Yu.V., Demidov P.A., Dronov S.V. Corrosion inhibitors for the protection of technological equipment of the oil industry operating in hydrogen sulfide-containing environments (Review). *ChemChemTech* [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2025. V. 68. N 7. P. 6–19. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7213.

CORROSION INHIBITORS FOR THE PROTECTION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE OIL INDUSTRY OPERATING IN HYDROGEN SULFIDE-CONTAINING ENVIRONMENTS

M.E. Leont'yeva, M.O. Agarkova, Yu.V. Demidova, P.A. Demidov, S.V. Dronov

Maria E. Leont'yeva (ORCID 0000-0002-6149-1320)*, Maria O. Agarkova (ORCID 0009-0000-3567-5567), Yuliya V. Demidova (ORCID 0000-0003-2608-0259), Pavel A. Demidov (ORCID 0000-0003-1938-1192), Sergey V. Dronov (ORCID 0009-0002-8028-9168)

Department of Technology of Petrochemical and Coal Chemical Industry, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Moskovsky ave., 26, Saint-Petersburg, 190013, Russia

E-mail: mevgenevna@bk.ru*, maria_agarkova2003@mail.ru, demidova@spbti.ru, pa.demidov@spbti.ru, dronov@spbti.ru

This review article is devoted to the problem of corrosion of technological equipment, such as: columns of primary oil refining plants, borehole pumping columns, oil storage tanks, piping systems, in the oil industry under operating conditions in hydrogen sulfide-containing media. A method of corrosion protection of the most vulnerable elements of technological schemes is considered using the method of changing the composition of the medium: the introduction of special reagents into working fluids that slow down the reactions of destruction of metals - corrosion inhibitors. The analysis of literary sources revealed the presence of many scientific teams involved in the modification of existing and the production of new compositions inhibiting hydrogen corrosion. Special attention is paid to nitrogen-containing inhibitors, which are most often the subject of interest of the world scientific community of corrosion specialists in the development of inhibitors, since they demonstrate high efficiency in preventing corrosion caused by exposure to hydrogen sulfide. The authors consider such classes of compounds as: higher aliphatic mono- and diamines, amides, amidoamines (including imidazolines), azomethines (Schiff bases), quaternary ammonium compounds, Mannich phenolic bases, esters and azoles. The article describes in detail the features of the chemical composition of the developed reagents, the properties of the inhibitors and their ability to reduce the rate of general corrosion and hydrogenation of metals in aggressive oil processing environments. This review article will allow us to systematize the available scientific papers on the method of protecting equipment in the oil refining industry using nitrogen-containing organic compounds and can be used as a basis for further scientific research in the field of obtaining important industrial products, including from waste from existing industries.

Keywords: oil industry, hydrogen sulfide-containing media, hydrogen sulfide corrosion, corrosion protection, corrosion inhibitor, protective effect, effectiveness of inhibitors, chemical composition of inhibitors, classification of inhibitors

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возникает значительная проблема обеспечения защиты стальных сооружений, подвергающихся воздействию высоких температур, давлений, высокоагрессивных рабочих сред, механических нагрузок и т. д. в процессах нефтяной промышленности. Ухудшение коррозионной стойкости и механических свойств, характерное для основного технологического оборудования: обсад-

ные колонны, скважинные насосы, системы трубопроводов, резервуары хранения нефти, колонны установок первичной переработки нефти, часто существенно осложняет добычу, транспортировку и переработку нефти и приводит к внезапному разрушению и аварийным ситуациям [1].

Рабочие жидкости – как сама нефть, так и нефтепромысловые воды – насыщенные сероводородом, как правило, являются источником свободного сероводорода и сульфидов. Опасность именно

этого сероводорода при коррозии нефтегазопромыслового оборудования определяется его высоким сродством к железу в широком диапазоне сред и условий: данная среда проявляет высокую агрессивность и становится причиной интенсивной коррозии трубопроводов и аппаратуры нефтепромышленности [2].

В результате взаимодействия сероводорода с железом на поверхности формируется равномерный слой продуктов коррозии [2], состоящий из сложного конгломерата сульфидов переменного состава [3], который, покрывая тонкой пленкой стенки аппаратов, защищает их от дальнейшего действия коррозионных агентов. Однако в присутствии сульфидов на поверхности стали, а также кислорода и углекислого газа скорость коррозии стали значительно увеличивается. К особенностям сероводородной коррозии относят ее локальный характер за счет проникновения сероводорода в межкристаллитные зоны [4]. На скорость сероводородной коррозии влияют как свойства металла (структура, наличие неоднородностей, вид, применение защитных покрытий и пленок), так и среда (состав, концентрация, температура, кислотность) [5].

На практике одним из наиболее распространенных методов борьбы с коррозией на объектах добычи и подготовки нефти является ингибиторная защита [6, 7]. Этот метод заключается в использовании специальных веществ, которые позволяют предотвратить или замедлить процесс кислотной, сероводородной или углекислотной коррозии на металлических поверхностях, находящихся в контакте с нефтепродуктами и коррозионно-активными средами [8-11]. Применимость подобных реагентов оценивается степенью защиты (защитным эффектом) Z , %, определяется по формуле (1):

$$Z = \frac{\alpha_{\text{ни}} - \alpha_{\text{и}}}{\alpha_{\text{ни}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{ни}}$ – скорость коррозии в неингибированной среде; $\alpha_{\text{и}}$ – скорость коррозии в ингибированной среде.

Расчет скорости коррозии α ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$) производят по формуле (2):

$$\alpha = \frac{m - m_1}{S \cdot \tau}, \quad (2)$$

где m – масса пластины до начала испытания, г; m_1 – масса пластины после испытания, г; S – площадь поверхности пластины, м^2 ; τ – длительность испытания, ч.

Тем не менее, применяемые вещества не всегда эффективно защищают материал от разру-

шения [12]. Даже в пределах одного нефтегазодобывающего управления (НГДУ) или месторождения на разных участках эффективность может значительно отличаться. Это обусловлено следующими факторами: растворимость (или диспергируемость) ингибитора в пластовых флюидах; совместимость ингибитора с пластовыми водами; неправильный подбор реагента для конкретных условий. Обычно на практике эту проблему пытаются решить путем увеличения дозировки реагента, но такой подход не всегда дает желаемый результат [13-15].

ИНГИБИТОРЫ СЕРОВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ

Накоплен значительный опыт получения из многотоннажных олефинов, гликолей, аминов и др. полифункциональных соединений, способных тормозить разрушение материалов в агрессивных средах [12, 16-40]. Ниже рассматриваются основные классы уже разработанных ингибиторов, применяемых в нефтепереработке.

АМИНЫ

В нефтепромышленности для защиты металлических поверхностей от коррозии, вызванной сероводородом, успешно применяются ингибиторы на основе аминов [41-45]. Они представляют собой органические соединения, содержащие аминогруппу и алкильную группу.

Авторами [46] выполнены исследования защитных свойств не модифицированных высших алифатических следующих моноаминов и диаминов: додециламин, гексадециламин, высшие алифатические амины с длиной углеводородной цепи C_{10} - C_{15} и C_{17} - C_{20} , алкилпропилендиамин (3, 4).



Установлено, что алифатические амины являются ингибиторами смешанного анодно-катодного действия, в растворах сероводорода проявляют защитный эффект от 70,5 до 82,0%.

В работе [47] исследована защитная эффективность третичных алифатических диаминов. Синтезированные третичные алифатические диамины проявляют более выраженные ингибирующие свойства – $Z = 94,3\%$, в отличие от аналогичных третичных алифатических аминов – $Z = 66,7\%$. Зависимость наблюдается как для парогазовой, так и для жидкой фазы в условиях общей сероводородной коррозии и наводороживания. За счет малой степени пенообразования и эмульгирования исследуемый тип аминов может быть использован в ка-

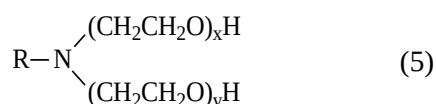
честве пленкообразующего ингибитора для внутренних поверхностей трубопроводов и оборудования.

Авторы [48] рассматривают как перспективный ингибитор сероводородной и углекислотной коррозии Эмульгин [49], представляющий собой смесь кубовых остатков производства первичных и вторичных высших алифатических аминов ряда C10-C16, C15-C20. Реагент при низких концентрациях способен обеспечивать высокий защитный эффект до 96–97% в слабокислых растворах.

В статьях [50–56] изучены ингибиторы коррозии АМДОР ИК-7 и АМДОР ИК-10, представляющие собой 10 %-е растворы высших аминов в смеси апротонных растворителей. Данные водорастворимые композиции замедляют общую коррозию в растворах с pH = 4,0 и 6,0 более эффективно по сравнению со средами с pH = 2,0. При концентрации 50–200 мг/л защитный эффект АМДОР ИК-7 составил 90–98%, для АМДОР ИК-10 при аналогичных условиях эффективность составляет 88–96%.

Кроме того, в промышленности нашел применение ингибитор, представляющий собой водный раствор 25% катапина и 25% уротропина [57]. Данный ингибитор рекомендовано применять при температурах до 120 °С при кислотной очистке оборудования и скважин от загрязнений.

Также в качестве ингибиторов рассматриваются оксиэтилированные высшие амины (5):



где R – углеводородный радикал с C₁₀–C₁₃ или C₁₇–C₂₀, а x + y = n = 2, 5, 14.

Например, в работах [57, 58] описан защитный эффект смеси оксиэтилированных высших алифатических аминов в двухфазной системе гептан-водный раствор (1:10) при постоянном перемешивании.

Наибольшее защитное действие наблюдается у аминов с R = C₁₀–C₁₃ при n = 2 (99,6%) и далее снижается с увеличением степени оксиэтилирования. Продукт с R = C₁₇–C₂₀ также достаточно эффективен при n = 14 (94,5%), с уменьшением n ингибирующие свойства ухудшаются.

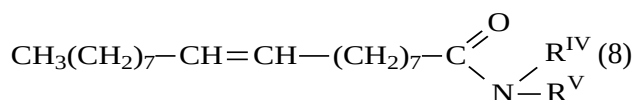
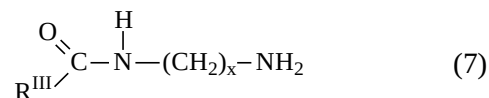
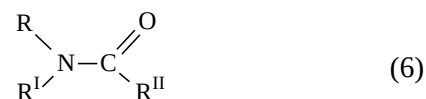
Также авторы [4] сообщают, что могут быть получены амины и диамины различной степени оксиэтилирования растворимые в требуемых средах. Оксигэтилированные амины характеризуются значительной эффективностью при самых различных случаях коррозии.

Многие компании, производящие ингибиторы, настойчиво рекомендуют использовать N-соли пропилендиамина и жирных кислот в качестве особо эффективных и экономически выгодных ингибиторов. В большинстве случаев применяются соли олеиновой и нафтенной кислот [59].

АМИДЫ

Одним из наиболее широко применимых классов антикоррозионных соединений являются амиды карбоновых кислот. Амиды (6–8) представляют собой химические соединения, применяющиеся в качестве ингибиторов коррозии и водородного охрупчивания в водных, водно-углеводородных и углеводородных агрессивных средах, содержащих сероводород и хлорид-ионы.

К достоинствам рассматриваемого класса соединений стоит отнести их эффективность в нефтедобыче и транспортировке сырой нефти в условиях общей коррозии, в то время как развитие локальных поражений металла не замедляется амидными ингибиторами [60].



где R и R^I – водород или другой остаток, R^{II}, R^{III} – остаток карбоновой кислоты из 14–18 атомов углерода, R^{IV}, R^V – водород или (CH₂CH₂OH)_n (n = 1–3).

Авторами [61] проанализированы возможности углеводорастворимых амидов и солей некоторых аминов и морфолина и карбоновых кислот в водно-органических средах проявлять ингибирующий эффект. Рассмотрены гипотетические схемы адсорбции с учетом данных по электронным зарядам и гидрофобности молекул.

Исследуемые ингибиторы в работе [62] (ИНКОРГАЗ-01ОН – амид, ИНКОРГАЗ-11ОН – диамид) в сероводородсодержащих средах и модельных пластовых водах проявляют наибольший защитный эффект. Рассмотрено влияние CO₂ и H₂S в рабочих растворах при разном времени испытания (24, 240, 720 ч).

Авторами [63] были получены ингибиторы сероводородной коррозии, являющиеся продук-

тами конденсации талловых кислот и полиэтиленполиаминов или конденсации жирных и нафтеновых кислот и триэтилететрамина в спиртово-углеводородном растворителе. Исследования проводились в имитате пластовых вод нефтяных скважин с концентрацией сероводорода 25-200 мг/л. В присутствии органического ингибитора на поверхности металла образовывалась сульфидная пленка из продуктов коррозии, повышался защитный эффект.

В статье [64] авторы провели синтез ингибитора коррозии на основе моноэтаноламина, олеиновой кислоты и таллового масла с получением амидов и солей сульфатированных амидов. Благодаря наличию полярных групп у полученных соединений на поверхности металла образуется адсорбционный слой, препятствующий коррозии. Все полученные соединения обладают защитным эффектом, увеличивающимся в ряду: моноэтаноламид < диэтаноламид. Наличие двух этильных групп позволяет диэтаноламиду занимать большую площадь поверхности металла по сравнению с моноэтаноламидом, что объясняет его большее защитное действие.

Авторы в работе [65] изучают процесс аминолиза вторичных полиэтилентерефталатов с моноэтаноламином и диэтаноламином. Данные продукты в комбинации с кубовыми остатками моноэтаноламина и пиридина можно использовать в качестве ингибиторов коррозии, поскольку те показали высокую степень защиты в агрессивной коррозионно-активной среде.

АМИДОАМИНЫ И ИМИДАЗОЛИНЫ

Аминоамиды представляют собой соединения, содержащие амидную группу ($-C(O)NHR$) и аминогруппу ($-NHR'$). Они обладают хорошими антикоррозионными свойствами и могут использоваться в качестве ингибиторов коррозии.

В статье [66] изучено влияние введения в слабокислую среду с содержанием CO_2 и H_2S ингибитора – продукта конденсации недистиллированных талловых кислот и полиэтиленполиамины марки А в виде 25%-го раствора в сольвенте (Олазол). Действующим началом являются амиды и соединения, имеющие циклическое имидазолиновое кольцо.

В [67] синтезированы ингибирующие составы на основе легких талловых масел и полиэтиленполиаминов, с введением в их структуру кубового остатка бутиловых спиртов и метанола. Полученные образцы не уступают промышленному ингибитору Сонкор 9601 по защитному эффекту, а при небольших концентрациях превосходят его.

Авторами [68] исследован защитный эффект ингибитора сероводородной и углекислотной коррозии АМДОР ИК-1. Проведены исследования в слабокислых средах, содержащих сероводород и углекислый газ, с концентрацией ингибитора 50-200 мг/л. Эффективность данного состава определяется компонентами среды и ее кислотностью.

В статье [69] объектом исследования являются водные растворы ингибиторов серии АМДОР, состоящих из 80% растворителя сложного и 20% активной формы состава (9) (смесь полиаминоамидов с полиаминоимидазолинами):



где $n = 3 - 6$, $m = 15 - 17$.

В [70] для замедления общей коррозии предложен ингибитор АМИК-2, представляющий собой смесь полиаминоамидов и полиаминоимидазолинами с неололом, керосином и толуолом. Данный состав проявляет эффективную защиту стали в углекислотной и сероводородной средах с уменьшением pH их растворов.

Для снижения коррозионных потерь авторами в статье [71] предложено использование ингибитора АМИК-1, состоящего из 20% активной формы (смесь полиаминоамидов с полиаминоимидазолинами, полученная при переработке талловых масел) с добавлением 5% неолола и 75% растворителя – метанола. В условиях сероводородной и углекислотной коррозии данное вещество обладает высокой степенью защиты при повышенной кислотности среды, а также в менее концентрированной солевой среде.

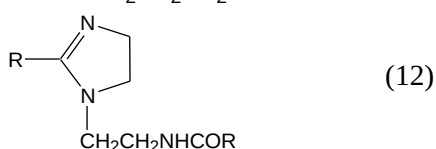
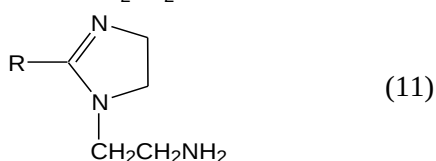
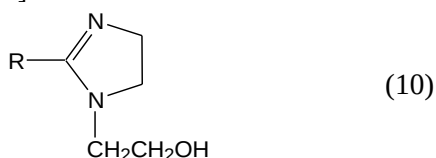
В статье [72] рассмотрен ингибитор смешанной углекислотно-сероводородной коррозии. В модельной пластовой воде и водно-углеводородных смесях эффективным защитным действием обладают реагенты: СНПХ-6030 марки Б – катион-активное фосфорсодержащее ПАВ в смеси органических растворителей, и Азол 5010В – смесь имидазолинов, полиэтиленполиамины, амидоаминов в смеси нефтяного сольвента с водно-метанольным раствором. С ростом концентраций данных соединений в рабочих средах наблюдается увеличение степени эффективности.

Авторами в работе [16] разработан универсальный бактерицид-ингибитор на основе имидазолинов и амидоаминов, полученных при конденсации аминоэтилэтаноламина с жирными кислотами. Полученные соединения проявляют высокую ингибирующую способность в модельных сероводородных средах, имитирующих пластовые воды.

В статье [17] приведен синтез бактерицид-ингибитора коррозии на основе перегонки продуктов конденсации аминоэтилэтаноламина и жирных кислот. Проведено исследование защитного эффекта в модельных сероводородных средах различных составов. При концентрации ингибитора 200 мг/л эффективность защиты достигает 94%.

В работе [18] изучены продукты на основе алкиламинов, алкиламидаминов в условиях сероводородной коррозии. Эффективность ингибиторов на основе простых аминов $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$ имеет максимум при $n = 11, 12$. Более растворимые в рабочей среде амидамины $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CONH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$ характеризуются увеличением защитного эффекта до $n = 14$. Видимо, введение дополнительной полярной группы способствует к увеличению размеров гидрофобного фрагмента ингибитора и, как следствие, повышению его растворимости в воде, а значит, и улучшению технологических свойств.

Среди азотсодержащих замедлителей коррозии широкое распространение также получили имидазолиновые ингибиторы [38], строение и основные группы которых будут рассмотрены ниже. Их используют как в чистом виде, так и в виде солей и производных [39]. В патентной литературе описано множество различных имидазолинов, применяемых для предотвращения коррозии [4]. В промышленности имидазолины и их производные зарекомендовали себя как надежная и относительно недорогая основа ингибиторов коррозии [40]. Примеры типичных представителей имидазолинов следующие – гидроксиэтилимидазолины (10), аминоэтилимидазолины (11), амидоэтилимидазолины (12) [73]:



Исследователи разработали различные методы получения эффективных ингибиторов на основе имидазолинов.

Например, получена модификация 1-этиламино-2-гептадецилимидазолина [74] взаимодействием с этиленоксидом и последующей реакцией

с P_2S_5 . Продукт обладает высокой антикоррозийной эффективностью при низких концентрациях – всего 5 мг/л.

Пеназолин [12] – это реагент с двойным действием, способный замедлять коррозионные процессы и образовывать на поверхности растворов устойчивую, плотную и густую пену. Пеназолин содержит в своем составе имидазолины и аминоамиды с алкильным радикалом.

АЗОМЕТИНЫ

Одним из направлений исследований по теме ингибирующих добавок является разработка реагентов, получаемых по реакции Шиффа (Схема) [19].

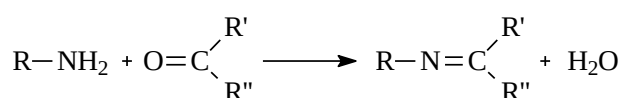


Схема. Реакция получения азометинов
Scheme. The reaction of obtaining azomethines

Подобные соединения эффективны в отношении кислотной коррозии, в том числе сероводородной, и относятся к классу летучих ингибиторов коррозии [20-25]. В зависимости от структуры молекулы они способны формировать адсорбционные слои различной толщины на защищаемой поверхности [26-33].

В статье [34] исследователи разработали водорастворимые ингибиторы сероводородной коррозии стали в двухфазной системе углеводород-вода – ИФХАН-62 – азометин, синтезированный по реакции Шиффа из альдегидов и алифатических аминов. Авторы установили закономерность защитного эффекта от химической структуры соединения и pH среды, показав влияние природы азометинов на ингибирование при коррозионных испытаниях.

В работе [35] проанализированы особенности создания летучих ингибиторов коррозии (м-нитробензоатгексаметиленмина, бензоимидазол, тиазолы, 1,2,3-бензотриазол с аминами, нитрилами аминов) и влияния их химической структуры на эффективность защиты поверхностей металлов.

В статье [36] испытан ингибитор сероводородной, углекислотной и солянокислой коррозии ИК-МА-16 на основе кротонового альдегида [37] и моноэтаноламина. Исследование показало, что концентрация соединения и температура раствора являются основными критериями эффективности ингибитора. При максимальной концентрации (0,4%) ИК-МА-16 обладает наибольшим защитным действием 95,5% при температуре 30-40 °С.

ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ АММОНИЙНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Четвертичные аммониевые соединения (ЧАС) – это азотсодержащие органические вещества, обладающие несколькими полезными свойствами [75]. Они не летучи [76], хорошо растворяются в воде [77] и обладают умеренной пенообразующей способностью [78]. Это позволяет использовать их в растворах различных кислот и усиливать их защитное действие в сочетании с другими ингибиторами коррозии [79].

В статье [51] авторами предложена водорастворимая ингибиторная композиция ПКУ-6 на основе продуктов конденсации уротропина с алкилхлоридом $C_{12}-C_{15}$. Исследования проводились при концентрации ингибитора 5-200 мг/л в модельных растворах в присутствии сероводорода и углекислого газа при изменении кислотности среды.

Авторами в работах [80-83] были синтезированы два вида соединений: арилкарбонилметилизохинолиний хлориды (аммониевые соединения типа N-[изононилфеноксиполи(этиленокси) карбонилметил] аммоний хлоридов) и гетерилониевые соли фосфористых кислот. Исследовано влияние полученных структур молекул, а также оксиэтильных групп и арил радикалов на защитные свойства. Проведена оценка влияния концентраций ингибитора и состава коррозионной среды на защитное действие ингибитора. После проведенных стендовых и опытно-промышленных исследований авторами доказана высокая степень защиты разработанных ингибиторных композиций в различных нефтепромышленных средах.

В [84] рассмотрены неклассические четвертичные аммониевые соединения, одновременно содержащие полярные кислородсодержащие (сложноэфирные, полиоксиэтильные) и серосодержащие (алкилсульфоксидные) фрагменты (домены), изучены их защитные свойства в солянокислой водной среде.

Авторы в [85] предложили синтез ЧАС на основе трибутилхлорпропениламмонийхлорида и борной кислоты; триэтаноламина, ортофосфорной кислоты и воды. Изучены физико-химические свойства полученных соединений, определены защитные эффекты и перспективные области применения.

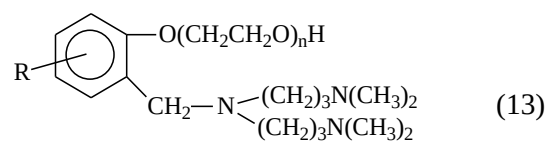
Объектом исследования в статье [86] является фторсодержащее четвертичное аммониевое соединение на основе кватернизованных фторсодержащих третичных аминов с помощью алкилиодидов. Данные соединения обладают высокой ингибирующей способностью в агрессивных растворах, они снижают скорость солянокислотной

коррозии углеродистых сталей при значительно малой концентрации ингибитора в растворе.

ФЕНОЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ МАННИХА

Фенольные основания Манниха (ФОМ) являются активными бифункциональными соединениями (13) и находят практическое применение в различных областях промышленности, также они используются как ингибиторы коррозии.

Авторы в статьях [87-89] рассматривают оксиэтилированные продукты конденсации изононилфенола с тетраметилдипропилентриамином в солянокислых, слабокислых, нейтральных средах и модельных пластовых водах, содержащих добавки H_2S .



$$\text{R} = \text{C}_9\text{H}_{19}$$

Было исследовано два вещества данного ряда: ФОМ 9 и ФОМ 9–20. Испытания проводились в зависимости от времени и концентрации ФОМ.

В солянокислой среде рост агрессивности среды и повышение концентрации сероводорода в растворе увеличивают скорость коррозии стали Ст3, значительно повышают защитное действие ингибиторов до 98-99%. Особенно сильно этот рост заметен в имитатах пластовых вод, где Z повышается на 40-50% по сравнению со средами, не содержащими H_2S .

При уменьшении pH среды отмечается рост защитного эффекта в слабокислых средах. Это вызвано тем, что амины в кислых средах протонируются и в таком виде лучше адсорбируются на поверхности металла. Также при повышении концентрации ФОМ наблюдается рост ингибирующего действия.

В работе [90] представлены результаты электрохимических исследований склонности стали к коррозии в водном растворе, содержащем хлорид, сульфат и тиосульфат ионы. Для испытаний было выбрано основание Манниха (N,N'-диморфолинметан), концентрация ингибитора составила 0,05% мас.

ЭФИРАМИНЫ

В работе [91] рассмотрены новые способы синтеза ингибиторов коррозии на основе этаноламинов и олеиновой кислоты с получением амидов жирных кислот. Разработанные соединения при низких концентрациях в имитате минерализованных пластовых вод проявляют высокий защитный

эффект. Среди амидов олеиновой кислоты, полученных из моно-, ди- и триэтаноламина, соединение на основе триэтаноламина обладает наибольшим защитным действием.

Эфирамины представляют собой продукт взаимодействия аминоспиртов с карбоновыми кислотами и обладают высокой ингибирующей активностью в сероводородсодержащих агрессивных средах [92]. При взаимодействии двухосновных кислот с одноатомными спиртами или двухатомных спиртов с одноосновными кислотами образуются двойные сложные эфиры, которые называются диэфирами. Наличие двух реакционноспособных групп в таких соединениях позволяет получать продукты с различным строением и свойствами в зависимости от конкретных потребностей.

В статьях [93, 94] авторами рассмотрена возможность синтеза олигоэфиров на основе полупродуктов процесса синтеза терефталевой кислоты и их использования как компонентов ингибиторов сероводородной коррозии. Приведены экспериментальные данные по подбору растворителя для равномерного распределения полиэфира по поверхности металла.

В статье [95] рассматривается возможность использования композиционного материала из госсиполовой смолы и аминоспиртов в качестве ингибитора коррозии. Госсиполовая смола в смеси с жидким аммиаком и аминоспиртами (моно-, ди- и триэтаноламинами, а также β (N,N-диэтиленамино)этанол амином)) проявляют защитное действие по отношению к металлическим поверхностям в агрессивных средах.

Авторами в статье [96] предложено использовать вторичное сырье в качестве альтернативы для получения ингибиторов сероводородной коррозии. Синтезированы продукты на основе аддукта мочевины (тиомочевины) с различными соединениями, обеспечивающими защитное действие 79,8–93,9%. Описана возможность повысить эффективность и стабильность данного ингибиторного состава за счет использования вторичных термопластов в виде пленкообразующих компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ивановский В.Н.** Теоретические основы процесса коррозии нефтепромыслового оборудования. Инженерная практика. *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело*. 2010. № 6. С. 4–14. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-4-109-120.
2. **Фархутдинова А.Р., Мукатдисов Н.И., Елпидинский А.А., Гречухина А.А.** Составы ингибиторов коррозии для различных сред. *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2013. Т. 16. № 4. С. 272–276.
3. **Скалли Дж.** Основы учения о коррозии и защите металлов. М.: Изд-во «Мир». 1977. С. 135–148.

АЗОЛЫ

Азолы – это органические ингибиторы адсорбционного типа, представляющие собой композицию азотсодержащих поверхностно-активных веществ в растворителе. Они используются для подавления углекислотной и сероводородной коррозии [97] в водных и водонефтяных средах на нефте- и газодобывающих предприятиях [98].

В работе [99] авторами описаны соединения класса азолов (имидазолы, триазолы, тетразолы) в качестве эффективных ингибиторов коррозии в различных агрессивных средах. Наличие защитного эффекта обуславливается электронным влиянием заместителей, а также их гидрофобностью, что влияет на защитные свойства по отношению ко многим металлам. Следует обратить внимание на способность многих азолов образовывать тонкие наноразмерные защитные пленки на поверхности, что демонстрирует новые возможности в развитии противокоррозионной защиты металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной обзорной статье были рассмотрены современные методы защиты технологического оборудования нефтепромышленности от коррозии в сероводородсодержащих средах. Особое внимание уделено азотсодержащим ингибиторам коррозии, которые демонстрируют высокую эффективность в предотвращении коррозии, вызванной воздействием сероводорода.

В статье подробно описаны состав и свойства таких ингибиторов, а также их способность снижать общую коррозию и наводороживание металлов в агрессивных средах.

БЛАГОДАРНОСТЬ И ФИНАНСИРОВАНИЕ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

REFERENCES

1. **Ivanovsky V.N.** Theoretical foundations of the corrosion process of oilfield equipment. Engineering practice. *Neftgazovoe Delo*. 2010. N 6. P. 4–14. (in Russian). DOI: 10.17122/ngdelo-2023-4-109-120.
2. **Farkhutdinova A.R., Mukatdisov N.I., Elpidzinsky A.A., Grechukhina A.A.** Corrosion inhibitor formulations for various media. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Univ*. 2013. V. 16. N 4. P. 272–276 (in Russian).
3. **Skalli Dzh.** Fundamentals of the doctrine of corrosion and protection of metals. M.: Izd-vo «Mir». 1977. P. 135–148 (in Russian).

4. **Дубинская Е.В., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е.** Ингибиторная защита стали в сероводородных средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2013. Т. 18. № 5–3. С. 2814–2822.
5. **Мукатдисов Н.И., Фархутдинова А.Р., Елпидинский А.А.** Опыт эксплуатации системы измерения скорости коррозии «Монитор-2М», поставленной в рамках НИУ КНИТУ. *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2013. № 2. С. 174–177.
6. **Клементьев В.Н., Пескова А.И., Долгов С.А., Потехин В.М.** Эффективность действия о-, n-, s-антиоксидантов ароматического ряда. *Изв. СПбГТИ (ТУ)*. 2016. № 36(62). С. 81–84.
7. **Яновский В.А., Андропов М.О., Романенко С.В., Фахрисламова Р.С., Чуркин Р.А., Минаев К.М.** Кинетика прямого амидирования стеариновой кислоты моноэтаноламином: экспериментальные исследования. *Вестн. Технол. ун-та*. 2022. Т. 25. № 9. С. 18–23. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_9_18.
8. **Турдыматов А.А., Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В.** Эффективность химической ингибиторной защиты в борьбе с внутренней коррозией промышленных трубопроводов. *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело*. 2016. № 3. С. 137–156. DOI: 10.17122/ogbus-2016-3-137-156.
9. **Афанасьев А.В.** Повышение эффективности ингибиторной защиты промысловых трубопроводов методами актуализации системных процессов. Опыт применения ингибиторов коррозии «МАСТЕР КЕМИКАЛЗ». *Инженер. практика: произ. техн. нефтегаз. журн.* 2012. № 5. С. 34–42.
10. **Абдрахманов Н.Х., Турдыматов А.А., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В.** Обеспечение безопасности технологических трубопроводных систем на предприятиях нефтегазового комплекса. *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело*. 2015. Т. 13. № 4. С. 254–260.
11. **Турдыматов А.А., Абдрахманов Р.Н., Егоров А.М.** Ингибиторы коррозии промышленных трубопроводов, классификация, оценка эффективности. *Экспертиза промышл. безопасности и диагностика опасных производ. объектов*. 2016. Т. 7. № 1. С. 172–176.
12. **Хайдарова Г.Р.** Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромыслового оборудования. *Совр. пробл. науки и образования*. 2014. № 6. С. 286–294.
13. **Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е., Габитов А.И., Голубев М.В., Лаптев А.Б., Калимуллин А.А.** Ингибиторы коррозии. Основы теории и практики применения. Уфа: Гос. изд-во науч.-техн. лит-ры «Реактив». 1997. 296 с.
14. **Розенфельд И.Л.** Ингибиторы коррозии. М.: Химия. 1977. 352 с.
15. **Саакиян Л.С., Ефремов А.П.** Защита нефтепромыслового оборудования от коррозии. М.: Недра. 1982. 227 с.
16. **Пыжик Т.Н., Сорокин В.Г., Землянская Н.В.** Синтез и лабораторная оценка эффективности экологически безопасного ингибитора коррозии. *Вестн. Гроднен. Гос. ун-та им. Янки Купалы. Сер. 6. Техника*. 2021. Т. 11. № 1. С. 18–24.
17. **Исмаилов О.Д.** Разработка универсального ингибитора коррозии. *Булатов. чтения*. 2020. Т. 2. С. 234–237.
18. **De Savignac A., Kabbage T., Dupin P., Calman M.** New synthesis of 1,3- and 1,2-Azoles and Benzo-1,3- and -1,2-Azoles. *Heterocyclic Chem.* 1978. V. 15. P. 897–899. DOI: 10.1002/jhet.5570150602.
19. **Розенфельд И.Л., Персианцева В.П.** Ингибиторы коррозии. М.: Наука. 1985. 278 с.
20. **Kuznetsov Y.I.** Organic inhibitors of corrosion of metals. New York: Springer Science & Business Media. 1996. P. 227–245.
4. **Dubinskaya E.V., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E.** Inhibitory protection of steel in hydrogen sulfide environments. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2013. V. 18. N 5–3. P. 2814–2822 (in Russian).
5. **Mukatdisov N.I., Farkhutdinova A.R., Elpidinsky A.A.** Operational experience of the Monikor-2M corrosion rate measurement system, delivered within the framework of the KNTU Research Institute. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Univ.* 2013. N 2. P. 174–177 (in Russian).
6. **Klement'ev V.N., Peskova A.I., Dolgov S.A., Potekhin V.M.** Effectiveness of aromatic o-, n-, and s-antioxidants. *Izv. SPbGTI (TU)*. 2016. N 36(62). N 62. P. 81–84 (in Russian).
7. **Yanovsky V.A., Antropov M.O., Romanenko S.V., Fahrislamova R.S., Churkin R.A., Minaev K.M.** Kinetics of direct amidation of stearic acid with monoethanolamine: experimental studies. *Vestn. Tekhnol. univ.* 2022. V. 25. N 9. P. 18–23 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_9_18.
8. **Turdymatov A.A., Abdrakhmanov N.X., Abdrakhmanova K.N., V Vorokhobko V.V.** The effectiveness of chemical inhibitory protection in the fight against internal corrosion of field pipelines. *Neftegazovoe Delo*. 2016. N 3. P. 137–156 (in Russian). DOI: 10.17122/ogbus-2016-3-137-156.
9. **Afanasyev A.V.** Increasing the effectiveness of inhibitory protection of field pipelines by methods of updating system processes. The experience of using corrosion inhibitors of “MASTER CHEMICALS”. *Inzh. Praktika: Proizv. Tekhn. Neftegaz. Zhurn.* 2012. N 5. P. 34–42 (in Russian).
10. **Abdrakhmanov N.X., Turdymatov A.A., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V.** Ensuring the safety of technological pipeline systems at oil and gas enterprises. *Neftegazovoe Delo*. 2015. V. 13. N 4. P. 254–260 (in Russian).
11. **Turdymatov A.A., Abdrakhmanov R. N., Egorov A.M.** Corrosion inhibitors of field pipelines, classification, efficiency assessment. *Ekspertiza Promyshl. Bezopasnosti Diagnostika Opasnykh Proizvodstv. Ob"ektov*. 2016. V. 7. N 1. P. 172–176 (in Russian).
12. **Khaidarova G.R.** Corrosion inhibitors for the protection of oilfield equipment. *Sovr. Probl. Nauki Obrazovaniya*. 2014. N 6. P. 286–294 (in Russian).
13. **Rakhmankulov D.L., Bugai D.E., Gabitov A.I., Golubev M.V., Laptev A.B., Kalimullin A.A.** Corrosion inhibitors. Fundamentals of theory and practice of application. Ufa: Gos. izd-vo nauch.-tekhn. lit-ry «Reaktiv». 1997. 296 p. (in Russian).
14. **Rosenfeld I.L.** Corrosion inhibitors. M.: Khimiya. 1977. 352 p. (in Russian).
15. **Saakiyan L.S., Efremov A.P.** Protection of oilfield equipment from corrosion. M.: Nedra. 1982. 227 p. (in Russian).
16. **Pyzhik T.N., Sorokin V.G., Zemlyanskaya N.V.** Synthesis and laboratory evaluation of the effectiveness of an environmentally safe corrosion inhibitor. *Vestn. Grodnen. Gos. Univ. im. Yanki Kupa-ly. Ser. 6. Tekhnika*. 2021. V. 11. N 1. P. 18–24 (in Russian).
17. **Ismailov O.D.** Development of a universal corrosion inhibitor. *Bulatov. Chteniya*. 2020. V. 2. P. 234–237 (in Russian).
18. **De Savignac A., Kabbage T., Dupin P., Calman M.** New synthesis of 1,3- and 1,2-Azoles and Benzo-1,3- and -1,2-Azoles. *Heterocyclic Chem.* 1978. V. 15. P. 897–899. DOI: 10.1002/jhet.5570150602.
19. **Rosenfeld I.L., Persiantseva V.P.** Corrosion inhibitors. M.: Nauka. 1985. 278 p. (in Russian).
20. **Kuznetsov Y.I.** Organic inhibitors of corrosion of metals. New York: Springer Science & Business Media. 1996. P. 227–245.

21. **Raman E.A., Labine P.** Reviews on corrosion inhibitor science and technology. Houston: Natl Assn of Corrosion Engineers. 1996. 336 p.
22. **Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е., Габитов А.И., Голубев М.В., Лаптев А.Б., Калимуллин А.А.** Ингибиторы коррозии. Уфа: Реактив. 1997. 296 с.
23. **Sastri V.S.** Corrosion inhibitors. Principle and applications. New York: Wiley, Chichester. 1998. 926 p.
24. **Кузнецов Ю.И.** Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов в водных растворах. *Усп. химии*. 2004. Т. 73. № 1. С. 79–93. DOI: 10.1070/rc2004v073n01abeh000864.
25. **Labine P., Raman E.A.** Reviews on corrosion inhibitor science and technology. Houston: Natl Assn of Corrosion Engineers. 2004. 115 p.
26. **Фонберг В.М., Дейнюк Л.А., Елисеев О.И., Скрипченко Н.П., Киселева О.И.** Органические ингибиторы коррозии металлов. *Кокс и химия*. 1989. № 11. С. 45–47.
27. **Киченко Б.В., Майстренко В.В., Молявко Г.А.** Ингибиторы коррозии. Принцип действия и области применения. *Кокс и химия*. 1992. № 10. С. 33–36.
28. **Киченко Б.В., Токарев Л.К.** Сер. Коррозия и защита окружающей среды. Отечественный опыт. Экспресс-информация ВНИИОЭНГ. 1992. Т. 5. № 1. С. 19–24.
29. **Вяхирев Р.И., Гафаров Н.А., Митрофанов А.В.** Обзор проблем коррозии и ингибиторной защиты трубопроводов с сероводородсодержащей продукцией в целях оценки перспективы эксплуатации газопроводов УКПГ-ГПЗ на Оренбургском газоконденсатном месторождении. М.: ОАО ВНИИОЭНГ. 1996. 60 с.
30. **Kharshan M., Furman A.** In corrosion. Houston: NACE. 1998. 326 p.
31. **Кузнецов Ю.И., Ваганов Р.К.** Об ингибировании сероводородной коррозии стали летучими азотсодержащими основаниями. *Защита металлов*. 2002. № 38. С. 244–256.
32. **Кузнецов Ю.И., Ибаттуллин К.А.** Защита металлов летучими ингибиторами в условиях теплообмена. *Защита металлов*. 2002. № 38. С. 496–500. DOI: 10.1023/A:1014904830050.
33. **Кузнецов Ю.И., Андреев Н.Н., Ибаттуллин К.А., Олейник С.В.** Защита стали летучими ингибиторами от углекислотной коррозии. II. Парогазовая фаза. *Защита металлов*. 2003. № 39. С. 23–29.
34. **Кузнецов Ю.И., Ваганов Р.К.** Об ингибировании сероводородной коррозии стали основаниями Шиффа. *Защита металлов*. 2001. Т. 37. № 3. С. 238–243.
35. **Андреев Н.Н., Кузнецов Ю.И.** Физико-химические аспекты действия летучих ингибиторов коррозии металлов. *Усп. химии*. 2005. Т. 74. № 8. С. 755–767. DOI: 10.1070/RC2005v074n08ABEH001162.
36. **Нарзуллаев А.Х., Бекназаров Х.С., Джалилов А.Т., Панжиев А.Х.** Ингибитор коррозии "ИК-МА-16" на основе кротонного альдегида и моноэтаноламина. *Universum: Химия и биология*. 2019. № 6(60). С. 64–67.
37. **Эшмаматова Н.Б.** Синтез и физико-химическое исследование олигомерных ингибиторов коррозии. *Приволж. науч. вестн.* 2013. Т. 1. № 8 (24). С. 8–13.
38. **Саламова Н.В., Гусейнова С.А., Бабаева В.Г.** Имидазолины и их комплексы в качестве поверхностно-активных веществ. *Вестн. Башкир. гос. пед. ун-та им. М. Акмуллы*. 2022. № 3(64). С. 220–227.
39. **Агамалиева Д.Б., Бабаева В.Д.** Имидазолины и их комплексы в качестве ингибиторов коррозии. *Вестн. Башкир. гос. пед. ун-та им. М. Акмуллы*. 2022. № 3(64). С. 23–37.
40. **Фролов В.И.** Противокоррозионная активность ингибитора "Олазол". *Вестн. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина*. 2009. № 2. С. 165–175.
21. **Raman E.A., Labine P.** Reviews on corrosion inhibitor science and technology. Houston: Natl Assn of Corrosion Engineers. 1996. 336 p.
22. **Rakhmankulov D.L., Bugai D.E., Gabitov A.I., Golubev M.V., Laptev A.B., Kalimullin A.A.** Corrosion inhibitors. Ufa: Reaktiv. 1997. 296 p. (in Russian).
23. **Sastri V.S.** Corrosion inhibitors. Principle and applications. New York: Wiley, Chichester. 1998. 926 p.
24. **Kuznetsov Yu.I.** Physico-chemical aspects of metal corrosion inhibition in aqueous solutions. *Usp. Khim.* 2004. V. 73. N 1. P. 79–93 (in Russian). DOI: 10.1070/rc2004v073n01abeh000864.
25. **Labine P., Raman E.A.** Reviews on corrosion inhibitor science and technology. Houston: Natl Assn of Corrosion Engineers. 2004. 115 p.
26. **Fonberg V.M., Dejnyuk L.A., Eliseeva O.I., Skripchenko N.P., Kiseleva O.I.** Organic metal Corrosion inhibitors. *Koks Khim.* 1989. N 11. P. 45–47 (in Russian).
27. **Kichenko B.V., Majstrenko V.V., Molyavko G.A.** Corrosion inhibitors. Principle of operation and areas of application. *Koks Khim.* 1992. N 10. P. 33–36 (in Russian).
28. **Kichenko B.V., Tokarev L.K.** Ser. Corrosion Environmental protection. Domestic experience. Express information VNIIOENG. 1992. V. 5, N 1. P. 19–24 (in Russian).
29. **Vyakhirev R.I., Gafarov N.A., Mitrofanov A.V.** Review of the problems of corrosion and inhibitory protection of pipelines with hydrogen sulfide-containing products to assess the prospects of operation of the UKPG-GPZ gas pipelines at the Orenburg gas condensate field. M.: OAO VNIIOENG. 1996. 60 p. (in Russian).
30. **Kharshan M., Furman A.** In corrosion. Houston: NACE. 1998. 326 p.
31. **Kuznetsov Yu.I., Vagapov R.K.** On the inhibition of hydrogen sulfide corrosion of steel by volatile nitrogen-containing bases. *Zashchita Metallov*. 2002. N 38. P. 244–256 (in Russian).
32. **Kuznetsov Yu.I., Ibatullin K.A.** Protection of metals with volatile inhibitors in heat exchange conditions. *Zashchita Metallov*. 2002. N 38. P. 496–500 (in Russian). DOI: 10.1023/A:1014904830050.
33. **Kuznetsov Yu.I., Andreev N.N., Ibatullin K.A., Olejnik S.V.** Protection of steel with volatile inhibitors from carbon dioxide corrosion. II. Steam-gas phase. *Zashchita Metallov*. 2003. N 39. P. 23–29 (in Russian).
34. **Kuznetsov Yu.I., Vagapov R.K.** On the inhibition of hydrogen sulfide corrosion of steel by Schiff bases. *Zashchita Metallov*. 2001. V. 37. N 3. P. 238–243 (in Russian).
35. **Andreev N.N., Kuznecov Yu.I.** Physico-chemical aspects of the action of volatile metal corrosion inhibitors. *Usp. Khim.* 2005. V. 74. N 8. P. 755–767 (in Russian). DOI: 10.1070/RC2005v074n08ABEH001162.
36. **Narzullaev A.X., Beknazarov X.S., Jalilov A.T., Panzhiev A.X.** Corrosion inhibitor "IK-MA-16" based on croton aldehyde and monoethanolamine. *Universum: Khim. Biolog.* 2019. N 6(60). P. 64–67 (in Russian).
37. **Eshmammatova N.B.** Synthesis and physico-chemical investigation of oligomeric corrosion inhibitors. *Privolzhskiy Nauchn. Vestn.* 2013. V. 1. N 8 (24). P. 8–13 (in Russian).
38. **Salamova N.V., Huseynova S.A., Babaeva V.G.** Imidazoles and their complexes as surfactants. *Vestn. Bashkir. Gos. Ped. Univ. im. M. Akmully*. 2022. N 3(64). P. 220–227 (in Russian).
39. **Agamaliyeva D.B., Babayeva V.D.** Imidazoles and their complexes as corrosion inhibitors. *Vestn. Bashkir. Gos. Ped. Univ. im. M. Akmully*. 2022. N 3(64). P. 23–37 (in Russian).
40. **Frolov V.I.** Anticorrosive activity of the Olazol inhibitor. *Vestn. RGU Nefti Gaza im. I.M. Gubkina*. 2009. N 2. P. 165–175 (in Russian).

41. **Женевская А.С.** Использование ингибиторов в нефтегазовой промышленности. *Изв. вузов. Арктический регион*. 2022. № 1. С. 10–16.
42. **Овчинников К.А., Ермолина Л.В.** Способы смягчения коррозии в нефтегазовой отрасли и оптимизация затрат на основе импортозамещения. *Основы экономики, управления и права*. 2020. № 4(23). С. 19–25. DOI: 10.51608/23058641_2020_4_19.
43. **Корючина Я. Н.** Способы борьбы с коррозией в системе сбора и подготовки нефти. *Пробл. разраб. месторожд. углеводород. и рудн. полезн. ископ.* 2022. Т. 1. С. 608–613.
44. **Рихсикходжаева Г.Р., Ризаев А.Н.** Технология получения ингибитора коррозии и солеотложения для теплообменного оборудования. *Universum: химия и биология*. 2020. № 8-2(74). С. 22–24.
45. **Хамидулина А.И.** Применение деэмульгаторов и антикоррозионных агентов на установках первичной переработки нефти. *Аллея науки*. 2019. Т. 2. № 12(39). С. 420–425.
46. **Синютина С.Е., Цыганкова Л.Е., Оше Е.К., Болдырев А.В.** Ингибирование коррозии стали Ст3 в слабокислых сероводородноуглекислотных растворах алифатическими аминами. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 1997. Т. 2. № 1. С. 27–31.
47. **Муравьева С.А., Мельников В.Г., Егоров В.В.** Третичные алифатические диамины как пленкообразующие ингибиторы сероводородной коррозии. *Защита металлов*. 2003. Т. 39. № 5. С. 517–521.
48. **Синютина С.Е., Вигдорович В.И., Чивилева Л.В., Цыганкова Л.Е.** Эффективность эмульгина как ингибитора коррозии и наводороживания стали Ст3 в слабокислых сероводородно-углекислотных средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 1999. Т. 4. № 2. С. 271–272.
49. Хаб Инноваций [Электронный ресурс] / Услуги и разработки Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина : Тамбов. – URL : <https://hubinnovation.tsutmb.ru/showcase/project/40/> (дата обращения: 26.06.2024). – Режим доступа: свободный.
50. **Нашекина Я.Р., Цыганкова Л.Е.** Ингибирование коррозии стали в слабокислых сероводородных и углекислотных средах. *Вестн. Тамбов. гос. техн. ун-та*. 2004. Т. 10. № 3. С. 697–704.
51. **Нашекина Я.Р., Цыганкова Л.Е.** АМДОР ик-7 как ингибитор сероводородной и углекислотной коррозии углеродистой. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2004. Т. 9. № 4. С. 438–443.
52. **Нашекина Я.Р., Цыганкова Л.Е.** Влияние АМДОР ИК - 7 на коррозию стали в слабокислых сероводородных и углекислотных средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2004. Т. 9. № 1. С. 60.
53. **Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Стрельникова К.О.** Защитная эффективность ингибиторов коррозии углеродистой стали АМДОР ИК-7 и АМДОР ИК-10 в средах с совместным присутствием CO₂ и H₂S. *Вестн. ТГУ*. 2012. Т. 17. № 3. С. 880–886.
54. **Кузнецов Ю.И., Вагапов Р.К.** О защите стали в сероводородсодержащих средах летучими ингибиторами. *Защита металлов*. 2000. Т. 36. № 5. С. 520. DOI: 10.1007/BF02764095.
55. **Улиг Г.Г., Реви Р.У.** Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику. Л.: Химия. 1989. 456 с.
56. **Никольский Б.П., Григоров О.Н., Позин М.Е.** Справочник химика. Л.: Химия. 1964. Т. 3. С. 175.
57. **Синютина С.Е., Цыганкова Л.Е.** Ингибирование коррозии углеродистой стали окси-этилированными аминами в двухфазных системах вода – углеводород. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 1999. Т. 4. № 2. С. 163–164.
41. **Genevskaya A.S.** The use of inhibitors in the oil and gas industry. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Arkticheskiiy Region*. 2022. N 1. P. 10–16 (in Russian).
42. **Ovchinnikov K.A., Ermolina L.V.** Methods of corrosion mitigation in the oil and gas industry and cost optimization based on import substitution. *Osnovy Ekonom. Up-ravl. Prava*. 2020. N 4(23). P. 19–25 (in Russian). DOI 10.51608/23058641_2020_4_19.
43. **Koryuchina Ya.N.** Methods of combating corrosion in the oil collection and treatment system. *Probl. Razrab. Mestorozhd. Uglevodorod. Rudn. Polezn. Iskop.* 2022. V. 1. P. 608–613 (in Russian).
44. **Rikhsikhodzhayeva G.R., Rizaev A.N.** Technology of obtaining a corrosion inhibitor and salt deposition for heat exchange equipment. *Universum: Khim. Biolog.* 2020. N 8-2(74). P. 22–24 (in Russian).
45. **Khamidullina A.I.** Application of demulsifiers and anticorrosive agents at primary oil refining plants. *Alleya Nauki*. 2019. V. 2. N 12(39). P. 420–425 (in Russian).
46. **Sinyutina S.E., Tsygankova L.E., Oshe E.K., Boldyrev A.V.** Corrosion inhibition of St3 steel in slightly acidic hydrogen sulfide solutions with aliphatic amines. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 1997. V. 2. N 1. P. 27–31 (in Russian).
47. **Murav'eva S.A., Mel'nikov V.G., Egorov V.V.** Tertiary aliphatic diamines as film-forming inhibitors of hydrogen sulfide corrosion. *Zashchita Metallov*. 2003. V. 39. N 5. P. 517–521 (in Russian).
48. **Sinyutina S.E., Vigdorovich V.I., Chivileva L.V., Tsygankova L.E.** The effectiveness of emulsifier as an inhibitor of corrosion and hardening of steel St3 in slightly acidic hydrogen sulfide-carbon dioxide media. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 1999. V. 4. N 2. P. 271–272 (in Russian).
49. Innovation Office [Electronic resource] / Services and developments of Tambov State University named after G.R. Derzhavin : Tambov. URL : <https://hubinnovation.tsutmb.ru/showcase/project/40/> (date of access: 26.06.2024). Access mode: free (in Russian).
50. **Nashchekina Ya.R., Tsygankova L.E.** Inhibition of steel corrosion in slightly acidic hydrogen sulfide and carbon dioxide environments. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2004. V. 10. N 3. P. 697–704 (in Russian).
51. **Nashchekina Ya.R., Tsygankova L.E.** AMDOR IK-7 as an inhibitor of hydrogen sulfide and carbon dioxide corrosion of carbon steel. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2004. V. 9. N 4. P. 438–443 (in Russian).
52. **Nashchekina Ya.R., Tsygankova L.E.** The effect of AMDOR IK - 7 on steel corrosion in slightly acidic hydrogen sulfide and carbon dioxide environments. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2004. V. 9. N 1. P. 60 (in Russian).
53. **Tsygankova L.E., Shel N.V., Strelnikova K.O.** Protective effectiveness of corrosion inhibitors of carbon steel AMDOR IK-7 and AMDOR IK-10 in environments with the combined presence of CO₂ and H₂S. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2012. V. 17. N 3. P. 880–886 (in Russian).
54. **Kuznetsov Yu.I., Vagapov R.K.** On the protection of steel in hydrogen sulfide-containing media with volatile inhibitors. *Zashchita Metallov*. 2000. V. 36. N 5. P. 520 (in Russian). DOI: 10.1007/BF02764095.
55. **Ulig G.G., Revi R.U.** Corrosion and its control. Introduction to Corrosion Science and Technology. L.: Khimiya. 1989. 456 p. (in Russian).
56. **Nikolsky B.P., Grigorov O.N., Pozin M.E.** Handbook of Chemistry. L.: Khimiya. 1964. V. 3. P. 175 (in Russian).
57. **Sinyutina S.E., Tsygankova L.E.** Inhibition of carbon steel corrosion by oxyethylated amines in two-phase water–hydrocarbon systems. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 1999. V. 4. N 2. P. 163–164 (in Russian).

58. Синютина, С. Е., Цыганкова, Л. Е., Оше, Е. К. Оксигетилированные высшие алифатические амины-ингибиторы коррозии и наводороживания стали Ст3 в сероводородно-углекислотных средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 1997. Т. 2. № 3. С. 310–316.
59. Дубинская Е.В., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е. Ингибиторная защита стали в сероводородных средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2013. Т. 18. № 53. С. 2814–2822.
60. Алцыбеева А.И., Бурлов В.В., Палатик Г.Ф. Соколов В.Л. Принципы ингибиторной защиты оборудования установок первичной переработки нефти. *Вестн. Удмурт. Ун-та. Сер. физика и химия*. 2006. № 8. С. 3–12.
61. Алцыбеева А.И., Тронова Е.А., Бурлов В.В. Молекулярные аспекты защитного действия углеводородорастворимых ингибиторов коррозии металлов. *Изв. СПбГТИ (ТУ)*. 2014. № 26(52). С. 26–30.
62. Цыганкова Л.Е., Фоменков О.А., Комарова О.В. Абу-бакер С.О. Защитные свойства ряда ингибиторов сероводородной и углекислотной коррозии стали. *Вестн. Тамбов. гос. техн. ун-та*. 2008. Т. 14. № 2. С. 353–363.
63. Цыганкова Л.Е., Костякова А.А., Альшика Н. Ингибирование сероводородной коррозии углеродистой стали в имитатах пластовых вод. *Усп. в химии и хим. технологии*. 2018. Т. 32. № 13(209). С. 90–92.
64. Шарифуллин А.В., Васюков С.И., Ямалтдинова К.А. Синтез и исследование защитных свойств ингибиторов коррозии на основе таллового масла и олеиновой кислоты. *Буллатов. чтения*. 2019. Т. 4. С. 156–158. EDN: XBXPVJ.
65. Мейлиева Л.К., Давлятова З.М., Кадилов Х.И. Изучение антикоррозийных свойств продуктов переработки отходов полиэтилентерефталата. *Universum: технические науки*. 2021. № 8-2(89). С. 52–57. DOI: 10.32743/UniTech.2021.89.8.12181.
66. Петрова И.В., Цыганкова Л.Е., Иванов Е.С. Ингибирование коррозии углеродистой стали в средах, насыщенных сероводородом и углекислым газом. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2001. Т. 6. № 4. С. 397–400.
67. Таранова Л.В., Глазунов А.М., Землянский Е.О., Мозырев А.Г. Разработка и исследование ингибиторов коррозии на основе таллового масла. *Изв. вузов. Нефть и газ*. 2021. № 2(146). С. 147–158. DOI: 10.31660/0445-0108-2021-2-147-158.
68. Петрова И.В., Цыганкова Л.Е. АМДОР ИК-1 как ингибитор коррозии стали Ст3 в слабокислых средах, содержащих CO₂ и H₂S. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2004. Т. 9. № 1. С. 68–70.
69. Вигдорович В.И., Шубина А.Г., Перепелкина И.Е. ХПК и БПК₅ водных растворов ингибиторов коррозии серии АМДОР ИК. *Вестник ТГУ*. 2004. Т. 9. № 3. С. 356–358.
70. Цыганкова Л.Е., Можаров А.В., Иванищенков С.С., Косьяненко Е.С. АМИК-2 как ингибитор коррозии стали Ст3 в углекислотных и сероводородных средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2002. Т. 7. № 2. С. 286–290.
71. Петрова И.В., Цыганкова Л.Е. АМИК-1 как ингибитор углекислотной и сероводородной коррозии стали. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2002. Т. 7. № 2. С. 282–285.
72. Монсеева Л.С., Айсин А.Е. Сравнительные испытания ингибиторов коррозии, применительно к условиям нефтяных месторождений ОАО "Самаранефтегаз". *Защита металлов*. 2007. Т. 43. № 1. С. 90–93. DOI: 10.1134/S0033173207010122.
58. Sinyutina S.E., Tsygankova L.E., Oshe E.K. Oxyethylated higher aliphatic amines are inhibitors of corrosion and oxidation of steel St3 in hydrogen sulfide-carbon dioxide media. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 1997. V. 2. N 3. P. 310–316 (in Russian).
59. Dubinskaya E.V., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E. Inhibitory protection of steel in hydrogen sulfide media. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2013. V. 18. N 53. P. 2814–2822 (in Russian).
60. Altsybeeva A.I., Burlov V.V., Palatik G.F. Sokolov V.L. Principles of inhibitory protection of primary oil refining equipment. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Fizika Khim*. 2006. V. 8. P. 3–12 (in Russian).
61. Altsybeeva A.I., Tronova E.A., Burlov V.V. Molecular aspects of the protective effect of hydrocarbon-soluble metal corrosion inhibitors. *Izv. SPbGTI (TU)*. 2014. N 26(52). P. 26–30 (in Russian).
62. Tsygankova L.E., Fomenkov O.A., Komarova O.V. Abubaker S.O. Protective properties of a few inhibitors of hydrogen sulfide and carbon dioxide corrosion of steel. *Vestn. Tambov. Gos. Tekhn. Univ*. 2008. V. 14. N 2. P. 353–363 (in Russian).
63. Tsygankova L.E., Kostyakova A.A., Alshika N. Inhibition of hydrogen sulfide corrosion of carbon steel in reservoir water simulations. *Usp. Khim Khim. Tekhnol*. 2018. V. 32. N 13(209). P. 90–92 (in Russian).
64. Sharifullin A.V., Vasyukov S.I., Yamaltdinova K.A. Synthesis and investigation of protective properties of corrosion inhibitors based on tall oil and oleic acid. *Bulatov. Chteniya*. 2019. V. 4. P. 156–158 (in Russian).
65. Meilieva L.K., Davlyatova Z.M., Kadirov X.I. Study of anticorrosive properties of waste products of polyethylene terephthalate. *Universum: Tekhnich. Nauki*. 2021. N 8-2(89). P. 52–57 (in Russian). DOI: 10.32743/UniTech.2021.89.8.12181.
66. Petrova I.V., Tsygankova L.E., Ivanov E.S. Corrosion inhibition of carbon steel in environments saturated with hydrogen sulfide and carbon dioxide. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2001. V. 6. N 4. P. 397–400 (in Russian).
67. Taranova L.V., Glazunov A.M., Zemlyanskij E.O., Mozyrev A.G. Development and research of corrosion inhibitors based on tall oil. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Neft Gaz*. 2021. N 2(146). P. 147–158 (in Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2021-2-147-158.
68. Petrova I.V., Tsygankova L.E. AMDOR IK-1 as a corrosion inhibitor of St3 steel in slightly acidic media containing SO₂ and H₂S. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2004. V. 9. N 1. P. 68–70 (in Russian).
69. Vigdorovich V.I., Shubina A.G., Perepelkina I.E. HPK and BPK₅ aqueous solutions of corrosion inhibitors of the AMDOR IK series. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2004. V. 9. N 3. P. 356–358 (in Russian).
70. Tsygankova L.E., Mozharov A.V., Ivanishchenkov S.S., Kosyanenko E.S. AMIK-2 as a corrosion inhibitor of St3 steel in carbon dioxide and hydrogen sulfide media. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2002. V. 7. N 2. P. 286–290 (in Russian).
71. Petrova I.V., Tsygankova L.E. AMIK-1 as an inhibitor of carbon dioxide and hydrogen sulfide corrosion of steel. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2002. V. 7. N 2. P. 282–285 (in Russian).
72. Moiseeva L.S., Ajsin A.E. Comparative tests of corrosion inhibitors in relation to the conditions of Samaraneftegaz oil fields. *Zashchita Metallov*. 2007. V. 43. N 1. P. 90–93 (in Russian). DOI: 10.1134/S0033173207010122.
73. Bajpai D., Tyagi V.K. Fatty Imidazolines: Chemistry, Synthesis, Properties and Their Industrial Application. *J. Oleo Sci*. 2006. V. 56. N. 5. P. 211–222. DOI: 10.5650/jos.55.319.

73. Bajpai D., Tyagi V.K. Fatty Imidazolines: Chemistry, Synthesis, Properties and Their Industrial Application. *J. Oleo Sci.* 2006. V. 56. P. 5. P. 211–222. DOI: 10.5650/jos.55.319.
74. Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш., Килинбаева А.С., Халикова О.Д. Оценка ингибирующей способности ингибитора на основе имидазолина. *Изв. вузов. Нефть и газ.* 2015. № 1(109). С. 74–78. DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-74-78.
75. Шатинова М.И., Авдеев Я.Г., Джафарова У.Ш. Замещенные пропаргиламины - ингибиторы кислотной коррозии сталей для нефтедобычи. *Журн. прикл. химии.* 2021. Т. 94. № 8. С. 1040–1049. DOI: 10.31857/S0044461821080107.
76. Мовсумзаде М.М., Бабаев Э.Р. Свойства и области применения биоцидных присадок. *Вестн. Башкир. гос. пед. ун-та им. М. Акмуллы.* 2023. № 2(70). С. 71–78.
77. Данилов А.М., Бартко Р.В., Антонов С.А. Современные достижения в области применения и разработки присадок к смазочным маслам (обзор). *Нефтехимия.* 2021. Т. 61. № 1. С. 43–51. DOI: 10.31857/S0028242121010032.
78. Махмудова Ф.А., Газиходжаева Н.М., Максумова А.С. Синтез четвертичных аммонийных солей и исследование их в качестве бактерицидов для подавления роста сульфатовосстанавливающих бактерий и ингибитора коррозии. *Universum: технические науки.* 2021. № 1–2(82). С. 49–53.
79. Казиева Р.Ю., Абдуллаева Н.Р., Алиева Л.И. Гетероорганические соединения - эффективные ингибиторы коррозии металлического оборудования. *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело.* 2024. № 2. С. 141–166. DOI: 10.17122/ogbus-2024-2-141-166.
80. Ившин Я.В., Угрюмов О.В., Варнавская О.А., Джанбекова Л.Р. Ингибиторы коррозии на основе гетероциклических аминов. 2. Влияние оксипропильных групп и арил радикалов на защитные свойства. *Вестн. технол. ун-та.* 2015. Т. 18. № 10. С. 108–111.
81. Ившин Я.В., Угрюмов О.В., Джанбекова Л.Р. Ингибиторы коррозии на основе гетероциклических аминов. 3. Влияние концентрации ингибитора и состава коррозионной среды на защитные свойства. *Вестн. технол. ун-та.* 2015. Т. 18. № 18. С. 125–126.
82. Ившин Я.В., Угрюмов О.В., Джанбекова Л.Р. Ингибиторы коррозии на основе гетероциклических аминов. 4. Механизм действия и натурные испытания защитных свойств. *Вестн. технол. ун-та.* 2015. Т. 18. № 18. С. 133–135.
83. Ившин Я.В., Угрюмов О.В., Варнавская О.А. Ингибиторы коррозии на основе гетероциклических аминов. 1. Влияние структуры молекулы на защитные свойства. *Вестн. технол. ун-та.* 2015. Т. 18. № 2. С. 77–80.
84. Фахретдинов П.С., Фосс Л.Е., Романов Г.В., Мусин Р.З. Функционально замещенные аммониевые соединения с кислород- и серосодержащими фрагментами. *Вестн. Казан. технол. ун-та.* 2011. № 1. С. 49–56.
85. Исламудинова А.А., Хайдарова Г.Р., Дмитриев Ю.К., Сидоров Г.М. Синтез ингибиторов коррозии на основе четвертичных аммониевых соединений и анализ защитных свойств. *Совр. пробл. науки и образования.* 2015. № 1–1. С. 52–56.
86. Горбунова Т.И., Бажин Д.Н., Запечалов А.Я., Салютин В.И. Синтез и ингибирующая способность новых фторсодержащих четвертичных аммониевых солей. *Журн. прикл. химии.* 2011. Т. 84. № 6. С. 948–953. DOI: 10.1134/S1070427211060127.
87. Можаров А.В., Иванищенко С.С., Косьяненко Е.С. Влияние ингибиторов ряда ФОМ на коррозионное поведение сталей. *Изв. вузов. Нефть и газ.* 2015. № 1(109). С. 74–78. DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-74-78.
88. Khafizov I.F., Khafizov F.Sh., Kilinbaeva A.S., Khalikova O.D. Evaluation of the inhibitory ability of an imidazoline-based inhibitor. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Neft Gaz.* 2015. N 1(109). P. 74–78 (in Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-74-78.
89. Shatirova M.I., Avdeev Ya.G., Dzhafarova U.Sh. Substituted propargylamines - acid corrosion inhibitors of steels for oil production. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2021. V. 94. N 8. P. 1040–1049 (in Russian). DOI: 10.31857/S0044461821080107.
90. Movsumzade M.M., Babaev E.R. Properties and applications of biocidal additives. *Vestn. Bashkir. Gos. Ped. Univ. im. M. Akmully.* 2023. N 2(70). P. 71–78 (in Russian).
91. Danilov A.M., Bartko R.V., Antonov S.A. Modern achievements in the field of application and development of additives to lubricating oils (review). *Neftekhimiya.* 2021. V. 61. N 1. P. 43–51 (in Russian). DOI: 10.31857/S0028242121010032.
92. Makhmudova F.A., Gazikhodzhaeva N.M., Maksumova A.S. Synthesis of quaternary ammonium salts and their investigation as bactericides to inhibit the growth of sulfate-causing bacteria and a corrosion inhibitor. *Universum: Tekhnich. Nauki.* 2021. N 1–2(82). P. 49–53 (in Russian).
93. Kazieva R.Yu., Abdullaeva N.R., Alieva L.I. Heteroorganic compounds are effective corrosion inhibitors of metal equipment. *Elektron. Nauch. Zhurn. Neftgaz. Delo.* 2024. N 2. P. 141–166 (in Russian). DOI: 10.17122/ogbus-2024-2-141-166.
94. Ivshin Ya.V., Ugryumov O.V., Varnavskaya O.A., Dzhambekova L.R. Corrosion inhibitors based on heterocyclic amines. 2. The effect of oxyethyl groups and aryl radicals on protective properties. *Vestn. Tekhnol. Univ.* 2015. V. 18. N 10. P. 108–111 (in Russian).
95. Ivshin Ya.V., Ugryumov O.V., Dzhambekova L.R. Corrosion inhibitors based on heterocyclic amines. 3. The effect of the concentration of the inhibitor and the composition of the corrosive medium on the protective properties. *Vestn. Tekhnol. Univ.* 2015. V. 18. N 18. P. 125–126 (in Russian).
96. Ivshin Ya.V., Ugryumov O.V., Dzhambekova L.R. Corrosion inhibitors based on heterocyclic amines. 4. Mechanism of action and field tests of protective properties. *Vestn. Tekhnol. Univ.* 2015. V. 18. N 18. P. 133–135 (in Russian).
97. Ivshin Ya.V., Ugryumov O.V., Varnavskaya O.A. Corrosion inhibitors based on heterocyclic amines. 1. The effect of the structure of the molecule on protective properties. *Vestn. Tekhnol. Univ.* 2015. V. 18. N 2. P. 77–80 (in Russian).
98. Fakhretdinov P.S., Foss L.E., Romanov G.V., Musin R.Z. Functionally substituted ammonium compounds with oxygen- and sulfur-containing fragments. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Univ.* 2011. N 1. P. 49–56 (in Russian).
99. Islamutdinova A.A., Khaidarova G.R., Dmitriev Yu.K., Sidorov G.M. Synthesis of corrosion inhibitors based on quaternary ammonium compounds and analysis of protective properties. *Sovr. Probl. Nauki Obrazov.* 2015. N 1–1. P. 52–56 (in Russian).
100. Gorbunova T.I., Bazhin D.N., Zapevalov A.Ya., Salutin V.I. Synthesis and inhibitory ability of new fluorinated quaternary ammonium salts. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2011. V. 84. N 6. P. 948–953 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070427211060127.
101. Mozharov A.V., Ivanishchenkov S.S., Kosyanenko E.S. The effect of POM inhibitors on the corrosion behavior of St3 steel in environments saturated with carbon dioxide and hydrogen sulfide. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki.* 2003. V. 8. N 1. P. 110–113 (in Russian).
102. Mozharov A.V., Tsygankova L.E. Investigation of the protective effectiveness of POM inhibitors in relation to St3 steel

- дение стали Ст3 в средах, насыщенных углекислым газом и сероводородом. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2003. Т. 8. № 1. С. 110–113.
88. **Можаров А.В., Цыганкова Л.Е.** Исследование защитной эффективности ингибиторов ряда ФОМ по отношению к стали Ст3 в слабых и нейтральных средах, содержащих сероводород. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2003. Т. 8. № 2. С. 263–266.
 89. **Можаров А.В.** Исследование ингибирующего действия фенольных оснований Манниха на коррозию Ст3 в слабых средах. *Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки*. 2001. Т. 6. № 1. С. 12–13.
 90. **Бурлов В.В., Алтыбева А.И., Кузимова Т.М.** Локальная коррозия оборудования современного нефтеперерабатывающего завода. *Изв. СПбГТИ (ТУ)*. 2011. № 11(37). С. 92–96.
 91. **Аминова, Э. К., Фомина, В. В., Лихачева, Н. А., Прозорова, О. Б., Гайсина, В. Н., Попова, А. В.** Синтез ингибиторов кислотной коррозии на основе олеиновой кислоты и аминокислот. *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело*. 2019. № 3. С. 116–125. DOI: 10.17122/ogbus-2019-3-116-125.
 92. **Байдиюков Е.Н.** Внутренняя коррозия нефтегазовых труб: причины, механизмы и меры по её уменьшению с помощью ингибиторов коррозии. *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 47. С. 1559–1564.
 93. **Бадикова А.Д., Цадкин М.А., Бугай Д.Е., Тюсенков А.С., Мустафин А.Г., Киреева Д.Р., Султанова М.Р.** Перспективы получения ингибиторов коррозии на основе олигоэфиров для сероводородсодержащих сред. *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело*. 2022. № 6. С. 153–170. DOI: 10.17122/ogbus-2022-6-153-170.
 94. **Бадикова А.Д., Мусина А.М., Кудашева Ф.Х., Хайруллина Р.Н., Гимаев Р.Н.** Регулирование физико-химических свойств олигоэфиров, полученных на основе твердого отхода производства терефталевой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2012. Т. 55. № 1. С. 18–21.
 95. **Шодиев Х.Р., Негматова К.С., Негматов С.С., Абед Н.С., Насриддинов А.Ш., Султанов С.У., Камалова Д.И.** Антикоррозионные композиционные материалы на основе органо-минеральных ингредиентов. *Universum: технические науки*. 2021. № 1–1(82). С. 46–49.
 96. **Содинова М.Р., Джаалилов А.Т., Абдумавлянова М.К., Содинов Т.С., Мурзаев Р.К., Таджиходжаев З.А.** Вторичные материальные ресурсы и ингибиторы коррозии металлов на их основе. *Universum: технические науки*. 2020. № 10–3(79). С. 18–23.
 97. **Маманд Д.М., Кадр Х.М.** Квантово-химическое и Монте-Карло моделирование эффективности ингибирования коррозии 2-меркапто-5-фенилфурана и бис(пиридил)оксадиазолов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 8. С. 33–45. DOI: 10.6060/ivkkt.20236608.6807.
 98. **Сизяков М.И.** Материалы и противокоррозионные разработки в морской и подводной добыче нефти и газа. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 4. С. 6–16. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6739.
 99. **Кузнецов Ю.И., Казанский Л.П.** Физико-химические аспекты защиты металлов ингибиторами коррозии класса азолов. *Журн. физ. химии*. 2008. Т. 77. № 3. С. 227–241. DOI: 10.1070/RC2008v077n03ABEH003753.
 - in slightly acidic and neutral environments containing hydrogen. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2003. V. 8. N 2. P. 263–266 (in Russian).
 89. **Mozharov A.V.** Investigation of the inhibitory effect of Mannich phenolic bases on the corrosion of Ct3 in slightly acidic media. *Vestn. Tambov. Univ. Ser.: Estestv. Tekhn. Nauki*. 2001. V. 6. N 1. P. 12–13 (in Russian).
 90. **Burlov V.V., Altsybeeva A.I., Kuzimova T.M.** Local corrosion of modern oil refinery equipment. *Izv. SPbGTI (TU)*. 2011. N 11(37). P. 92–96 (in Russian).
 91. **Aminova E.K., Fomina V.V., Likhacheva N.A., Prozorova O.B., Gaisina V.N., Popova A.V.** Synthesis of acid corrosion inhibitors based on oleic acid and amino alcohol. *Elektron. Nauch. Zhurn. Neftegaz. Delo*. 2019. N 3. P. 116–125 (in Russian). DOI: 10.17122/ogbus-2019-3-116-125.
 92. **Baydyukov E.N.** Internal corrosion of oil and gas pipes: causes, mechanisms and measures to reduce it using corrosion inhibitors. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2021. N 47. P. 1559–1564 (in Russian).
 93. **Badikova A.D., Zadkin M.A., Bugai D.E., Tyusenkov A.S., Mustafin A.G., Kireeva D.R., Sultanova M.R.** Prospects for obtaining corrosion inhibitors based on oligoesters for hydrogen sulfide-containing media. *Elektron. Nauch. Zhurn. Neftegaz. Delo*. 2022. N 6. P. 153–170 (in Russian). DOI: 10.17122/ogbus-2022-6-153-170.
 94. **Badikova A.D., Musina A.M., Kudasheva F.X., Khairullina R.N., Gimaev R.N.** Regulation of the physico-chemical properties of oligoesters obtained based on solid waste from the production of terephthalic acid. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2012. V. 55. N 1. P. 18–21 (in Russian).
 95. **Shodiev H.R., Negmatova K.S., Negmatov S.S., Abed N.S., Nasriddinov A.Sh., Sultanov S.U., Kamalova D.I.** Anticorrosive composite materials based on organic ingredients. *Universum: Tekhn. Nauki*. 2021. N 1–1(82). P. 46–49 (in Russian).
 96. **Sodikova M.R., Jalilov A.T., Abdumavlyanova M.K., Sodikov T.S., Murzaev R.K., Tajikhodzhaev Z.A.** Secondary material resources and metal corrosion inhibitors based on them. *Universum: Tekhn. Nauki*. 2020. N 10–3(79). P. 18–23 (in Russian).
 97. **Mamand D.M., Qadr H.M.** Quantum chemical and monte carlo simulations on corrosion inhibition efficiency of 2-mercapto-5-phenylfuran and bis(pyridyl)oxadiazoles. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 8 P. 33-45 (in Russian) DOI: 10.6060/ivkkt.20236608.6807.
 98. **Sizyakov M.I.** Materials and anticorrosion developments in offshore and subsea oil and gas production. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 4. P. 6-16 (in Russian) DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6739.
 99. **Kuznetsov Yu.I., Kazansky L.P.** Physico-chemical aspects of metal protection with azole-class corrosion inhibitors. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2008. V. 77. N 3. P. 227–241 (in Russian). DOI: 10.1070/RC2008v077n03ABEH003753.

Поступила в редакцию 27.01.2025

Принята к опубликованию 25.03.2025

Received 27.01.2025

Accepted 25.03.2025