

А. И. Писарев, Л. А. Гараев, Р. Д. Айманов,
Д. А. Куряшов, А. Р. Хамиди, Н. Ю. Башкирцева

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ В ПРИСУТСТВИИ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ

Ключевые слова: коррозия, ингибитор коррозии, эффективность, электрохимический метод, гравиметрический метод, молекулярная структура, сульфатовосстанавливающие бактерии.

Внутренняя коррозия остается одной из наиболее значимых проблем, влияющих на надежность и долговечность нефтепромыслового оборудования. Эффективным и технологичным методом замедления скорости коррозии является применение ингибиторов коррозии. В данной работе рассматривается ряд активных основ для производства ингибиторов коррозии, с целью выбора наиболее целесообразного состава, который обеспечит высокий уровень защиты при промышленном использовании. Оценку эффективности ингибиторов коррозии проводили при помощи электрохимического и гравиметрического методов. Оценен эффект «последствия» при периодической дозировке реагента. Результаты исследований показали, что образцы различаются по своим защитным свойствам. Некоторые из них не обеспечили необходимый уровень защиты, в то время как другие демонстрируют высокий защитный эффект. На основе проведенных испытаний была выбрана наиболее перспективная рецептура ингибитора, которая обладает высокой эффективностью и доступностью сырьевых компонентов. Дополнительно изучено влияние длины алкильного радикала молекулы ингибитора коррозии на скорость коррозии. При длине алкильного радикала C₁₂₋₁₄ наблюдается наибольшая эффективность для предложенного ингибитора коррозии. Полученные данные могут быть использованы при разработке промышленного производства ингибиторов коррозии, что позволит снизить зависимость от импортных активных основ. Состав ингибитора был протестирован в соответствии требованиями нефтяных компаний: определение удельной эффективной дозировки, агрессивность товарной формы, растворимость в пластовых флюидах. Кроме того, изучены адсорбционные свойства ингибитора коррозии. Проведены испытания по оценке бактерицидных свойств ингибитора коррозии-бактерицида. На основании полученных результатов, ингибитор коррозии был рекомендован для опытно-промышленных испытаний на месторождениях Западной Сибири.

A. I. Pisarev, L. A. Garaev, R. D. Aymanov,
D. A. Kuryashov, A. R. Khamidi, N. Yu. Bashkirtseva

PROTECTIVE PROPERTIES OF CORROSION INHIBITORS BASED ON NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS AGAINST CARBON DIOXIDE CORROSION OF STEEL IN THE PRESENCE OF SULFATE-REDUCING BACTERIA

Keywords: corrosion, corrosion inhibitor, efficiency, electrochemical method, gravimetric method, molecular structure, sulfate-reducing bacteria.

Internal corrosion remains one of the most significant issues affecting the reliability and durability of oilfield equipment. An effective and technologically advanced method for slowing down the corrosion rate is the use of corrosion inhibitors. This study examines a range of active bases for corrosion inhibitor production to select the most suitable composition that ensures a high level of protection for industrial use. The effectiveness of corrosion inhibitors was evaluated using electrochemical and gravimetric methods. The "post-effect" was assessed under periodic reagent dosing. The research results showed that the samples differ in their protective properties. Some did not provide the required level of protection, while others demonstrated a high protective effect. Based on the conducted tests, the most promising inhibitor formulation was selected, demonstrating high efficiency and availability of raw material components. Additionally, the influence of the alkyl radical length in the corrosion inhibitor molecule on the corrosion rate was studied. The highest efficiency of the proposed corrosion inhibitor is observed at an alkyl radical length of C₁₂₋₁₄. The obtained data can be used in the development of industrial production of corrosion inhibitors, reducing dependence on imported active bases. The inhibitor composition was tested in accordance with the requirements of oil companies, including determining the specific effective dosage, the aggressiveness of the commercial form, and solubility in reservoir fluids. Additionally, the adsorption properties of the corrosion inhibitor were studied. Tests were conducted to assess the bactericidal properties of the corrosion inhibitor-bactericide. Based on the obtained results, the corrosion inhibitor was recommended for pilot industrial trials in the oil fields of Western Siberia.

Введение

Согласно оценкам, средний срок эксплуатации изделий, изготовленных из стали, железа, а также различных цветных и черных металлов, в стандартных условиях окружающей среды составляет примерно 15 лет. Даже тугоплавкие металлы, такие как ниобий, ванадий, вольфрам, молибден и рений, подвержены разрушительному

воздействию внешних факторов [1,2]. Для стабильного функционирования оборудования, конструкций и трубопроводных систем необходимо эффективно замедлять коррозионные процессы, используя различные методы защиты.

Согласно исследованию ИМПАСТ («Международные меры по предотвращению, применению и экономике коррозионных технологий»), проведенному организацией NACE

International, ежегодные глобальные затраты на борьбу с коррозией составляют порядка 2,5 трлн долларов. Наибольшие финансовые убытки наблюдаются в таких сферах, как нефтегазовая отрасль, системы очистки воды и инфраструктурные объекты. В исследовании отмечается, что грамотное управление процессами коррозии может привести к потенциальному снижению расходов предприятий на 15–35% [3]. Это достигается за счёт уменьшения количества отказов оборудования и увеличения срока его службы.

Результаты исследований демонстрируют важность современных научных и технических разработок, которые направлены на борьбу с коррозией. Улучшение свойств материалов для конструкций и внедрение передовых методов защиты металлических поверхностей являются ключевыми факторами для повышения надёжности и долговечности оборудования, применяемого в процессах бурения, добычи, транспортировки и переработки нефти [4-6].

Экономические потери, обусловленные коррозионным разрушением металлов, сравнимы с объемами инвестиций в стратегически значимые отрасли промышленности промышленно развитых стран [7,8]. Исследование экономических последствий коррозии демонстрирует, что совокупные издержки на предотвращение и компенсацию прямых потерь от неё составляют 3–5% от общего объёма национального дохода. По некоторым оценкам, расходы на защиту от коррозии составляют примерно 2–4% от валового внутреннего продукта [9].

Анализ статистических данных по отказам и аварийным ситуациям в нефтегазовой отрасли показывает, что коррозия — одна из основных причин разрушения конструкций. Согласно отраслевым исследованиям, примерно в 70% случаев поломки оборудования, задействованного в добыче и транспортировке нефти, происходит из-за коррозии [10]. По другой оценке [11], деятельность микроорганизмов является причиной примерно 80% случаев коррозионных повреждений нефтепромыслового оборудования, а также более 80% разрушений подземных металлических конструкций. Эти сведения указывают на потребность в создании более действенных способов борьбы с коррозией, что позволит значительно уменьшить экономические и эксплуатационные риски.

В настоящее время системы трубопроводов представляют собой один из наиболее действенных и экономически выгодных методов транспортировки газообразных и жидких углеводородов. Эти системы позволяют перемещать сырьё как внутри добывающих, перерабатывающих и объектов хранения предприятий, так и на значительные расстояния. С точки зрения контроля коррозии, системы трубопроводов являются сложным технологическим объектом [12].

Ежегодно по нефтегазовым трубопроводам транспортируются миллионы кубометров технологических жидкостей и продукции скважин,

которые содержат большое количество агрессивных компонентов. Эти вещества способствуют быстрому износу трубопроводов и являются одной из основных причин аварий, которые приводят к разливам нефти [13].

В настоящее время серьёзной проблемой является значительное старение труб из-за внутренней коррозии, что требует постоянного контроля их технического состояния и применения эффективных методов защиты от коррозии. Чтобы решить эту проблему, необходимо обеспечить комплексную защиту трубопровода от коррозии. Она должна включать в себя постоянный контроль за состоянием труб и использование специальных веществ, которые замедляют процесс коррозии внутри труб.

Главным фактором, провоцирующим внутреннюю коррозию в трубах для транспортировки нефти и газа, является присутствие воды в транспортируемой среде. Её содержание может достигать 98%. Повышенная агрессивность такой среды связана с наличием в ней растворённых веществ, которые способствуют коррозии. Это могут быть механические примеси, соли, а также специфические микроорганизмы, которые относятся к биоценозу нефти и способствуют её коррозии [14, 15]. Эти бактерии ускоряют процесс разрушения металлической поверхности. Кроме того, на коррозионную активность влияют такие факторы, как температура, скорость потока, минерализация, давление, уровень pH, структура эмульсии и условия её разделения [16].

Особенно тяжёлая коррозионная ситуация наблюдается в системах поддержания пластового давления (ППД) и подготовке высокообводнённой нефти. Такие условия благоприятны для развития жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ), которые вызывают локальную коррозию оборудования [17].

Известно, что 70-80% коррозионных потерь при биокоррозии в нашей стране относят за счёт коррозии от воздействия СВБ [18], в США – не менее 75%.

Для замедления скорости внутренней коррозии в нефтегазопроводных системах, используются разнообразные способы защиты [19]:

- нанесение специальных покрытий, которые защищают от коррозии и устойчивы к агрессивным средам при температурах от 50 до 80 °С;
- применение труб, изготовленных из материалов, устойчивых к коррозии;
- применение ингибиторов коррозии (ИК). Эти вещества добавляются в поток жидкости непрерывно или порционно в соответствии с заданным режимом дозирования;
- применение герметизирующих составов для обеспечения герметичности резьбовых соединений.

Одним из самых эффективных и технологичных методов защиты трубопроводов является использование ингибиторов коррозии. Эти вещества образуют на поверхности металла защитную плёнку, которая предотвращает его разрушение [20]. Этот способ демонстрирует высокие результаты, его легко реализовать без каких-либо изменений в технологиях добычи, подготовки и транспортировки углеводоро-

дов. Кроме того, он не требует сложного оборудования.

Ингибиторы коррозии, используемые в нефтегазовой промышленности, представляют собой производные химических соединений, содержащие атомы серы, азота, кислорода и фосфора [21]. Среди них особенно выделяются алифатические жирные кислоты, имидазолины, азотсодержащие соединения с длинными углеводородными цепочками. Ранее в качестве ингибиторов широко применялись амины, их соли, четвертичные аммониевые соединения, пиридиновые производные, полиэтиленпиперазин и триэтилхлорпропенил-аммоний хлорид [22]. Однако ужесточение экологических норм в отношении хлорсодержащих соединений привело к постепенному отказу от их использования на нефтегазодобывающих объектах.

Следовательно, непрерывное улучшение способов защиты от коррозии и создание новых ингибиторов остаются актуальными направлениями исследований, нацеленных на повышение надёжности и срока службы трубопроводов, используемых в нефтегазовой отрасли.

В связи с усилением внимания к вопросу замещения импорта в сфере нефтяной промышленности, активно проводятся исследования, цель которых — разработка отечественных ингибиторов коррозии, отличающихся высокой эффективностью и способных составить достойную конкуренцию дорогостоящим зарубежным аналогам. Настоящая работа посвящена:

- изучению ряда различных основ ингибиторов коррозии с целью выбора оптимального варианта по критериям эффективности;
- определения рекомендуемой удельной дозировки с целью последующего проведения опытно-промышленных испытаний;
- подтверждение технологической эффективности ингибиторов коррозии для проведения опытно-промышленных испытаний на основе лабораторных испытаний;
- оценка эффективности реагентов по отношению к микробиологической коррозии;

Экспериментальная часть

Для проведения исследования были выбраны семь образцов основ ингибиторов коррозии, различающихся по своему химическому составу:

- образцы I–IV, VII представляют собой реагенты на основе недорогих сырьевых компонентов, в том числе побочные продукты и отходы промышленного производства;
- образец V является органическим азотсодержащим соединением с широкодоступной отечественной сырьевой базой;
- образец VI представляет собой синтезированное соединение, полученное на основе дорогостоящих импортных компонентов.

Исследование включало несколько этапов:

- определение скорости коррозии электрохимическим методом для исследуемых образцов при помощи коррозиметра типа «Монитор»;

- изучение защитного эффекта гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 9.506-87;
- оценка влияния длины алкильного радикала на защитный эффект;
- определение физико-химических свойств ингибитора коррозии;
- исследование бактерицидного действия по отношению к СВБ.

В начале исследования образцы были подвергнуты электрохимическим испытаниям для оценки их способности противостоять коррозии. Этот метод был выбран из-за его информативности и удобства, поскольку результаты измерений автоматически отображаются в единицах измерения скорости коррозии (мм/год).

При проведении опытов использовалась модельная вода, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 – Состав модельной воды, соответствующей для некоторых регионов Западной Сибири

Table 1 – The composition of model water corresponding to Western Siberia

Состав воды:	Единица измерения	Значение
		регион Западной Сибири
NaCl	г/дм ³	12,3
CaCl ₂ * 2H ₂ O		0,35
MgCl ₂ * 6H ₂ O		0,48
NaHCO ₃		0,51
CO ₂		20
Температура	°C	60

Продолжительность испытаний - шесть часов, при этом показания регистрировались каждые десять минут.

Определение поляризационного сопротивления с использованием портативного прибора «Монитор» относится к электрохимическим методам. Этот метод основан на принципе Штерна и Гири, согласно которому зависимость между потенциалом и приложенным током вблизи коррозионного потенциала носит линейный характер. Данное предположение позволяет установить простую зависимость между током коррозии в форме математического выражения (1):

$$I_{\text{кор}} = \frac{b_a b_k}{2,303 \cdot (b_a + b_k)} * \frac{\Delta E}{R_p} = \frac{B}{R_p}, \quad (1)$$

где b_a, b_k – константы Тафеля; B – постоянная, зависящая от констант Тафеля; ΔE - анодная или катодная плотность тока, возникающая при изменении потенциала (ΔE) в пределах 10–20 мВ, мА/см².

Результаты представлены в виде графика на рисунке 1.

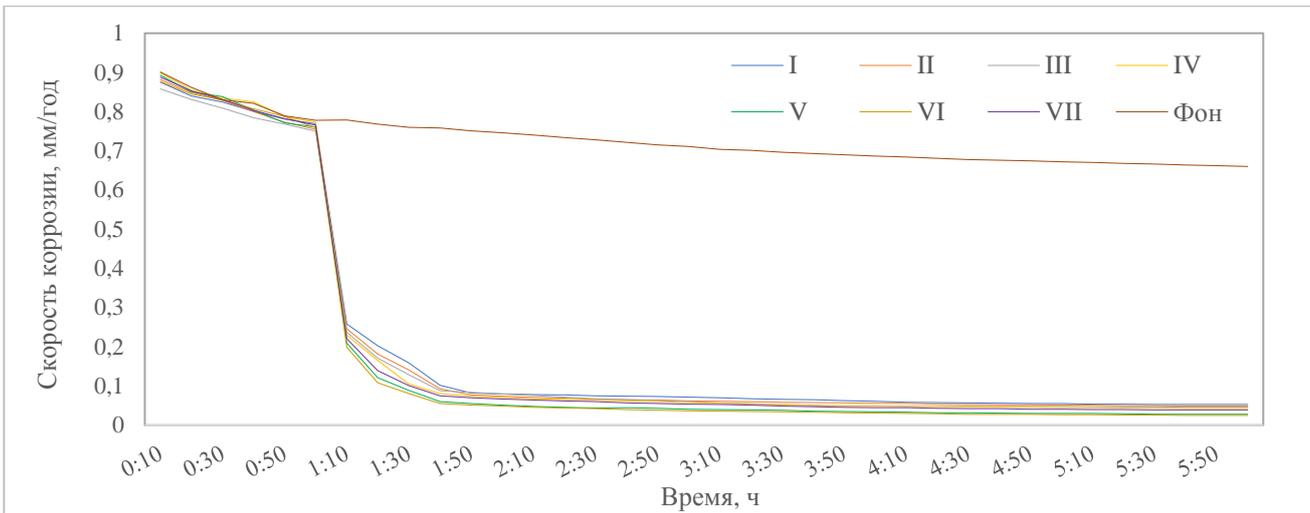


Рис. 1 – Зависимость скорости коррозии от времени

Fig. 1 – Dependence of corrosion rate on time of corrosion rate on time

Для наглядности полученных результатов, на рисунке 2 представлены результаты опыта, со

второго часа, после введения ингибитора коррозии в ячейки с моделью воды.

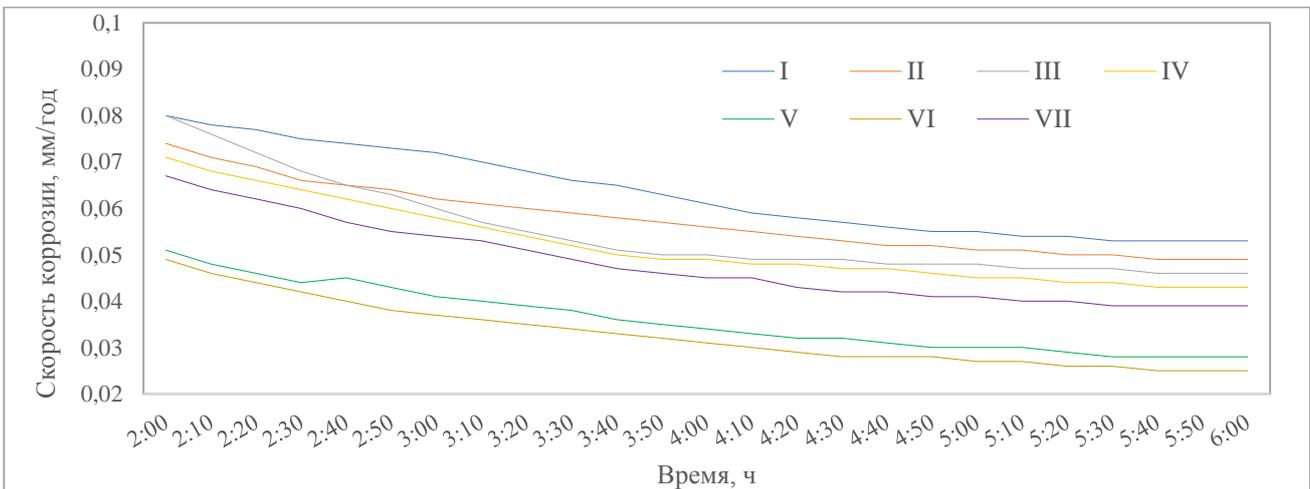


Рис. 2 – Зависимость скорости коррозии от времени, начиная со второго часа

Fig. 2 – Dependence of corrosion rate on time, starting from the second hour

Результаты исследования показывают, что все испытанные соединения при дозировке 25 мг/дм³ обеспечивают остаточную скорость коррозии не более 0,1 мм/год. Однако между семью образцами есть существенные различия в эффективности.

Далее была изучена эффективность этих образцов в условиях, моделирующих периодическое дозирование ингибитора в добывающие скважины. При таком методе дозирования необходимо оценить эффект «последствия», то есть способность сохранять защитную пленку на поверхности металла в течение продолжительного периода без необходимости ее дополнительного поддержания.

На рисунке 3 представлены результаты определения скорости коррозии в условиях периодической закачки ингибитора коррозии.

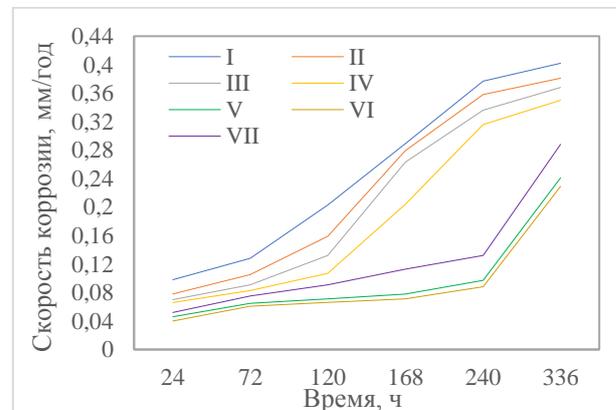


Рис. 3 – Зависимость скорости коррозии от времени (эффект последствия)

Fig. 3 – Dependence of corrosion rate on time (post-effect)

При периодической обработке, требуемым критерием эффективности является сохранение скорости коррозии не выше 0,1 мм/год на протяжении как можно большего времени. Образцы V, VI продемонстрировали наибольшее время, при котором соблюдалось данное требование.

Также для оценки реагентов применялся гравиметрический метод. В качестве образцов-свидетелей использовались стальные пластины из стали Ст.20 размером 22,0×73,0×3,3 мм. Испытания длились 24 часа при температуре 60 °С (что соответствует реальным условиям для рассматриваемого региона). Скорость перемешивания среды составляла 0,5 м/с.

Подбирались дозировки реагентов, соответствующие требованию по остаточной скорости коррозии не более 0,10 мм/год при отсутствии очагов локальной коррозии.

Для расчета общей скорости коррозии K (г/(м²·час)) использовали формулу (2):

$$K = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau} \quad (2)$$

где m_0 , m_1 – масса образца до и после испытания соответственно, г; S – площадь поверхности образца, м²; τ – время экспозиции, час.

Расчет защитного эффекта Z (%) ведется по формуле (3):

$$Z = \frac{K_0 - K_{\text{инг}}}{K_0} * 100, \quad (3)$$

где K_0 – фоновая скорость коррозии (в неингибированной среде), г/(м²·час); $K_{\text{инг}}$ – общая скорость коррозии в ингибированной среде, г/(м²·час).

Результаты гравиметрических испытаний сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Защитный эффект в зависимости от дозировки ингибитора

Table 2 – Protective effect depending on the inhibitor dosage

Номер образца	Защитный эффект (%)			
	10 мг/дм ³	15 мг/дм ³	20 мг/дм ³	25 мг/дм ³
I	74,0	81,0	85,0	87,0
II	78,0	83,0	87,0	90,0
III	81,0	86,0	90,0	92,0
IV	82,0	87,0	91,0	92,0
V	83,0	90,0	93,0	95,0
VI	83,0	91,0	95,0	97,0
VII	81,0	86,0	89,0	91,0

Электрохимический и гравиметрический методы анализа эффективности ингибиторов позволили выявить различия в защитных характеристиках исследуемых образцов:

- образцы I–IV, VII показали недостаточную эффективность;

- образец V обеспечил степень защиты на уровне 93% при дозировке 20 мг/дм³, что является высоким показателем для промышленных условий;

- образец VI продемонстрировал максимальную эффективность, но лишь незначительно превосходя результат образца V.

На основании полученной информации в качестве основы для ингибитора коррозии был выбран образец V. Выбор был обусловлен рядом факторов:

- высокой эффективностью защиты (93% при дозировке 20 мг/дм³);

- наличием доступной сырьевой базы и сравнительной простотой производства;

- экономической целесообразностью по сравнению с образцом VI, на основе импортных компонентов.

Проведенные исследования позволили определить оптимальную основу для ингибитора коррозии в заданных условиях, сочетающую высокие защитные свойства, простоту производства.

Дополнительные исследования согласно требованиям нефтедобывающих компаний показали, что реагент совместим с добываемой жидкостью, при смешении с обрабатываемой жидкостью не образует гели и выпадение осадков.

Следующим шагом стало изучение влияния длины алкильного радикала в структуре соединения образца V на его защитные характеристики.

В ходе изучения были исследованы алкильные радикалы C₄–C₁₈. Оценка защитных свойств ингибитора осуществлялась гравиметрическим и электрохимическим методами, что позволило определить степень защиты от коррозии для каждой рассматриваемой длины алкильного радикала. По результатам испытаний был построен график, отображающий зависимость защитного эффекта ингибитора от длины алкильного радикала. Графическое представление данных приведено на рисунке 4.

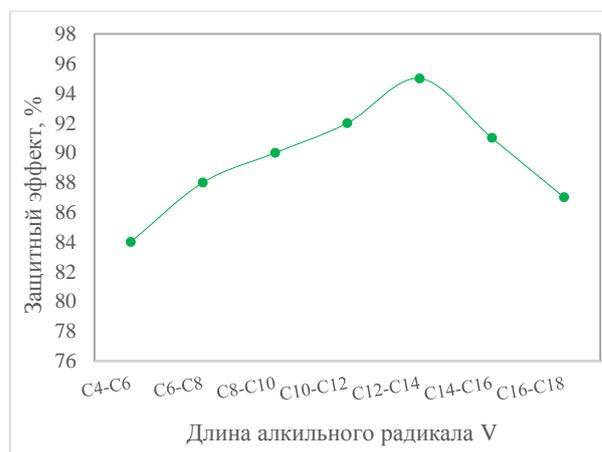


Рис. 4 – Зависимость защитного эффекта от длины алкильного (гидрофобного) радикала молекулы образца V

Fig. 4 – Dependence of the protective effect on the alkyl (hydrophobic) radical length of sample v molecule

Наиболее эффективным вариантом для данного соединения является ингибитор коррозии с длиной алкильного радикала C₁₂–C₁₄, который обеспечивает

наилучшую защиту среди всех исследованных образцов.

Далее образец V будет упоминаться как Scimol™.

Для анализа стабильности защитной плёнки ингибитора коррозии была использована электрохимическая рабочая станция «ZIVE SP2» в режиме регистрации стационарного потенциала (Е_{ОСР}).

Эксперименты проводились в термостатируемой электрохимической ячейке с принудительным перемешиванием. Ячейка была оснащена трёхэлектродной системой, включающей рабочий электрод W_E — образец стали марки Ст.20, хлоридсеребряный электрод сравнения R_E и вспомогательный платиновый электрод С_E.

Методика изучения разрушения защитной плёнки ингибитора коррозии включала следующее:

- на первом этапе в коррозионную ячейку была добавлена модельная вода. После этого регистрировался потенциал Е_{ОСР} в течение 100 секунд до его стабилизации;

- затем в систему был добавлен ингибитор коррозии. Фиксировалась динамика изменения потенциала. Этот параметр использовался для оценки эффективности ингибитора: чем более выраженным было изменение потенциала относительно исходного уровня, тем выше оценивалась эффективность ИК. После добавления реагента системе предоставлялось время на стабилизацию, а полученные экспериментальные данные фиксировались;

- на завершающем этапе раствор, содержащий ингибитор, был заменён на чистую модельную среду. Регистрировалось изменение стационарного потенциала, что позволяло оценить устойчивость защитной плёнки на металлической поверхности.

Эта методика позволяет оценить адсорбцию и прочность плёнки ингибитора, а также его способность формировать длительную антикоррозионную защиту.

На рисунке 5 в виде графика представлены результаты.

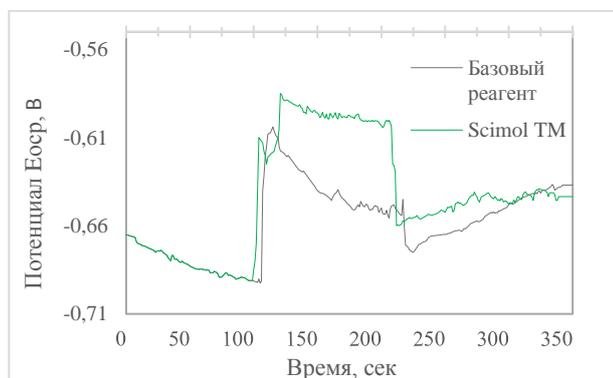


Рис. 5 – Изменение потенциала разомкнутой цепи во времени

Fig. 5 – Change open circuit potential (OCP) over time

Быстрое и значительное изменение потенциала на втором и первом этапе эксперимента свиде-

тельствовало о низкой стабильности пленки ингибитора на поверхности стали.

Согласно рис. 5, большую эффективность продемонстрировал ИК Scimol™, который обеспечивал значительное изменение потенциала ОСР при его добавлении и минимальные колебания во время стабилизации системы. Это указывает на значительную адсорбцию ингибитора коррозии на стальной поверхности и формирование стабильной защитной пленки. Результаты базового реагента уступают ингибитору Scimol™, с резким и глубоким снижением потенциала ОСР, что свидетельствует о его более слабой адсорбции к поверхности стали. При замене раствора на модельную воду тренды изменения потенциала ОСР для каждого ингибитора оставались неизменными, что подтверждает различия в их особенности формировать устойчивую защитную пленку.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов наилучшие свойства проявил ингибитор Scimol™, показавший высокие адсорбционные свойства и стабильность покрытия стали марки Ст.20 в заданных условиях.

Далее была определена растворимость реагента в нефти и минерализованной воде. В ходе опытов установлено, что ингибитор коррозии растворим в воде и не растворим в нефти.

В ходе испытания по определению коррозионной агрессивности товарной формы ИК Scimol™ гравиметрическим методом был получен результат равный 0,043 г/м²*час, что не превышает допустимого значения в 0,089 г/м²*час.

Для проверки эффективности подавления СВБ образцами исследуемых ингибиторов коррозии использовался метод разведения питательных сред Постгейта. Для анализа использовалась зараженная проба воды месторождения Западной Сибири. Флаконы с питательной средой, в которые была введена зараженная СВБ вода с расчетным количеством ингибитора коррозии-бактерицида, выдерживали в течение 15 дней в термостате при температуре 34 °С, отмечая появление черного осадка (сульфида железа):

- «н/о» – рост СВБ отсутствует;
- «0+» – слабый рост СВБ;
- «1, 2» – заметный рост СВБ;

Результаты испытаний сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Эффективность образцов по отношению к СВБ при дозировке 500 мг/дм³

Table 3 - Effectiveness of samples against SRB at a dosage of 500 mg/dm³.

Вре- мя, сутки	Образец							
	Фо н	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0+	0+	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2	2	0+	0+	0+	н/о	н/о	н/о	н/о
3	2	0+	0+	0+	н/о	н/о	н/о	н/о
4	2	0+	0+	0+	н/о	н/о	н/о	н/о
5	2	1	0+	0+	0+	н/о	н/о	0+

Продолжение таблицы 3
Continuation of Table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	2	1	0+	0+	0+	н/о	н/о	0+
7	2	1	1	0+	0+	н/о	н/о	0+
8	2	1	1	1	0+	н/о	н/о	0+
9	2	1	1	1	0+	н/о	н/о	0+
10	2	1	1	1	0+	н/о	н/о	0+
11	2	2	1	1	1	н/о	н/о	0+
12	2	2	1	1	1	н/о	н/о	1
13	2	2	2	1	1	н/о	н/о	1
14	2	2	2	2	2	н/о	н/о	1
15	2	2	2	2	2	н/о	н/о	1

Заключение

Проведенные исследования позволили оценить эффективность различных основ ингибиторов коррозии и выявить наиболее перспективные соединения для дальнейшего промышленного применения.

Дополнительно было проведено изучение влияния длины алкильного радикала (гидрофобного) в составе ингибитора коррозии ScimoTM. Результаты свидетельствуют, что изменение длины радикала оказывают значительное влияние на эффективность реагентов. Испытания показали, что существует точка экстремума длины алкильного радикала, входящего в состав компонентов активной основы ингибитора, при которой товарная форма реагента демонстрирует свои наиболее высокие антикоррозионные свойства.

Ингибитор коррозии ScimoTM разработан на основе отечественного, доступного сырья. Реагент не содержит хлорорганические соединения в своем составе, что является обязательным требованием для допуска к опытно-промышленным испытаниям.

Ингибитор коррозии ScimoTM обладает высоким защитным эффектом и продолжительным эффектом последствия, а также обладает бактерицидными свойствами. Свойства, которыми обладает реагент, позволяют применять его как по технологии постоянного дозирования, так и периодической заправки с целью защиты нефтепромыслового оборудования от коррозии и биоповреждений.

В ходе определения технологических характеристик установлено, что ингибитор коррозии ScimoTM соответствует требованиям, предъявляемым к ингибиторам коррозии и бактерицидам.

На основании полученных результатах ингибитор коррозии ScimoTM был рекомендован к опытно-промышленным испытаниям на нескольких месторождениях Западной Сибири в системе нефтесбора и ППД с начальной дозировкой 20 мг/дм³.

Литература

1. И.Л. Кнунянц, *Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2.* Москва: Сов. энциклопедия, 1990. 671 с.
2. Uz, M., Wittenauer, J.P. *JOM* 44, 25 (1992). doi:10.1007/BF03222298.
3. И. М. Пироженоко, С. П. Василевская, *Наука и современное образование: актуальные вопросы, достижения и инновации*, Пенза 15-20 (2023).

4. M. B. Kermani, D. Harrop, *SPE Production & Facilities*, 11(03) 186-190 (1996). doi:10.2118/29784-pa.
5. M. B. Kermani, L. Smith, *European Federation of Corrosion Series*, 13 (1994).
6. M. B. Kermani, F. Abbassian, *Proc. 12th International Corrosion Congress*, Houston 327 (1993).
7. В. А. Тимонин, *Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева*, 3, 243–247 (1985).
8. Е. П. Янин, *Коррозия как источник загрязнения окружающей среды*, НП «АРСО», Москва, 2020. 112 с.
9. Ю. Б. Зырянова, *Молодой ученый*, 33-36 (2015).
10. И.В. Семенова, *Коррозия и защита от коррозии*, Москва, 2010. 416 с.
11. А. М. Сухотин, Рейс Иола, *Защита металлов*, 20, 2, 213-217 (1984).
12. С. Г. Юдаш, Р. Ф. Бишель, Мамбеирв, В.М. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, 2, 70-77 (2017).
13. Р. Г. Бикмасов, К. С. Резанов, *Наука и образование сегодня*, 2 (61), 34-36 (2021).
14. А.А. Герасименко, *Практика противокоррозионной защиты*, 4 (10), 14-28 (1998).
15. А.А. Герасименко, Г.В. Матюша, Т.А. Андрющенко, Н.Б. Лукина, *Коррозия: материалы, защита*, 7, 39-40 (2005).
16. С. С. Петров, Р.А. Васин, Ж.В. Князева, Д.И. Андриянов, Е.С. Сургаева, *Нефтегазовое дело*, 18, 4, 102-112 (2020).
17. В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, *Ингибирование сероводородной и углекислотной коррозии металлов. Универсализм ингибиторов*, КАРТЭК, Москва, 2011, С. 55-57.
18. Р.Н. Липович, К.Р. Низамов, Ф.С. Асфандиеров, *Методы определения биостойкости материалов*, 60 (1997).
19. А. Н. Серебряков, И. С. Мотузов, *Вестник Российского университета дружбы народов*, 18, 2, 174-181 (2017).
20. Н.В. Даниякин, А. А. Сигида А.А., *Auditorium*, 2 (14), 132-140 (2017).
21. Р. Жолдасбоев, С. Очиллов, А. А. Умирзоков, А.Н. Караманов, *Scientific progress*, 2, 234-241 (2021).
22. Г. Р. Хайдарова, А.С. Тюсенков, Д.Е. Бугай, Г.З. Раскильдина, А.А. Исламутдинова, Г.М. Сидоров, *Известия высших учебных заведений*, 61, 7, 130-136 (2018).

References

1. I.L. Knunyants, *Chemical Encyclopedia: In 5 volumes: Vol. 2.*, Moscow: Soviet Encyclopedia, 1990. 671 p.
2. Uz, M., Wittenauer, J.P. *JOM* 44, 25 (1992). doi:10.1007/BF03222298
3. I. M. Pirozhenko, S. P. Vasilevskaya, *Science and Modern Education: Current Issues, Achievements, and Innovations*, Penza, 15-20 (2023).
4. M. B. Kermani, D. Harrop, *SPE Production & Facilities*, 11(03) 186-190 (1996). doi:10.2118/29784-pa
5. M. B. Kermani, L. Smith, *European Federation of Corrosion Series*, 13 (1994).
6. M. B. Kermani, F. Abbassian, *Proc. 12th International Corrosion Congress*, Houston 327 (1993).
7. V.A. Timonin, *Journal of the Mendeleev Chemical Society*, 3, 243–247 (1985).
8. E. P. Yanin, *Corrosion as a Source of Environmental Pollution, NP ARSO*, Moscow, 2020. 112 p.
9. Yu. B. Zyryanova, *Young Scientist*, 33-36 (2015).
10. I.V. Semenova, *Corrosion and Corrosion Protection*, Moscow, 2010. 416 p.
11. A. M. Sukhotin, Reis Iola, *Protection of Metals*, 20(2), 213-217 (1984).

12. S. G. Yudash, R. F. Bishel, V.M. Mambeirov, *Intellect. Innovation. Investment*, 2, 70-77 (2017).
13. R. G. Bikmasov, K. S. Rezanov, *Science and Education Today*, 2(61), 34-36 (2021).
14. A.A. Gerasimenko, *Practice of Anti-Corrosion Protection*, 4(10), 14-28 (1998).
15. A.A. Gerasimenko, G.V. Matyusha, T.A. Andryushchenko, N.B. Lukina, *Corrosion: Materials, Protection*, 7, 39-40 (2005).
16. S. S. Petrov, R.A. Vasin, Zh.V. Knyazeva, D.I. Andriyanov, E.S. Sargaeva, *Oil and Gas Business*, 18(4), 102-112 (2020).
17. V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova, *Inhibition of Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide Corrosion of Metals. Universality of Inhibitors*, KARTEK, Moscow, 2011, pp. 55
18. R.N. Lipovich, K.R. Nizamov, F.S. Asfandiyarov, *Methods for Determining the Biostability of Materials*, 60 (1997).
19. A. N. Serebryakov, I. S. Motuzov, *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia*, 18(2), 174-181 (2017).
20. N.V. Danyakin, A. A. Sigida, *Auditorium*, 2(14), 132-140 (2017).
21. R. Zholdasboev, S. Ochilov, A. A. Umirzokov, A.N. Karamanov, *Scientific Progress*, 2, 234-241 (2021).
22. G. R. Khaidarova, A.S. Tyusenkov, D.E. Bugai, G.Z. Raskildina, A.A. Islamutdinova, G.M. Sidorov, *Proceedings of Higher Educational Institutions*, 61(7), 130-136 (2018).

© **А. И. Писарев** – старший технолог ООО «Миррико»; магистрант кафедры Химической технологии переработки нефти и газа (ХТПНГ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, andrei.pisarev.01@gmail.com; **Л. А. Гараев** – к.т.н., директор департамента химических решений и сервиса ООО «Миррико», Казань, Россия, garaev_l_a@mirrico.com; **Р. Д. Айманов** – к.т.н., руководитель группы по работе с ингибиторами ООО «Миррико», aimanov_r_d@mirrico.com; **Д. А. Куряшов** – к.х.н., доцент кафедры ХТПНГ, КНИТУ, dkuryashov@gmail.com; **А. Р. Хамиди** – магистрант ХТПНГ, КНИТУ, khamidi.alan@mail.ru; **Н. Ю. Башкирцева** – д.т.н., заведующий кафедрой ХТПНГ.

© **A. I. Pisarev** – Senior Technologist at Mirrico LLC; Master-student of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing (CTOGP), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, andrei.pisarev.01@gmail.com; **L. A. Garaev** – PhD (Technical Sci.), Director of the Department of Chemical Solutions and Services, Mirrico LLC, Kazan, Russia, garaev_l_a@mirrico.com; **R. D. Aymanov** – PhD (Technical Sci.), Head of the Inhibitor Management Group at Mirrico LLC, aimanov_r_d@mirrico.com; **D. A. Kuryashov** – PhD (Chemical Sci.), Associate Professor of the CTOGP department, KNRTU, dkuryashov@gmail.com; **A. R. Khamidi** – Master-student of the CTOGP department, KNRTU, khamidi.alan@mail.ru; **N. Yu. Bashkirtseva** – Doctor of Science (Technical Sci.), Head of the CTOGP department, KNRTU, BashkirtsevaNYu@corp.knrtu.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 07.03.25.

Дата принятия рукописи в печать – 14.04.25.