УДК: 620.193.6:665.63+547.233 DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.014

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИНГИБИТОРА - АЛКИЛ- И ДИАЛКИЛАМИННЫХ КОМПЛЕКСОВ 1-ОЙ ФРАКЦИИ ПНК ПРОТИВ КОРРОЗИИ H_2S В КИСЛОЙ СРЕДЕ

© Аббасов Вагиф Магеррам оглы (a). Алимадатли Нихад Юсиф оглы (a), Рзаева Нигяр Шикар гызы (a), Агамалиева Дурна Бабек гызы (a), Аюбов Ильгар Гаджи оглы (a), Аббасзаде Сара Муталлим гызы (a), Асадова Севда Бахтияр гызы (a)

(a) Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования

Аннотация. В ходе исследований, проводимых в Институте нефтехимических процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева (НХПИ), из керосиновой фракции, полученной из смеси бакинских нефтей, была выделена фракция I природных нефтяных кислот (ПНК), на основе которой синтезированы соответствующие алкильные и диалкиламинные (бутиламин, октиламин, диэтиламин, дибутиламин) комплексы, и их структуры изучены методом ИК-спектрального анализа. Были приготовлены 10%-ные растворы полученных комплексов в 70%-ном изопропиловом спирте, изучены некоторые физико-химические свойства, а также проведены обширные исследования в водных средах, богатых H_2S, с целью исследования защитного эффекта от коррозионных процессов, происходящих в присутствии сероводорода. На основании результатов испытаний было определено, что октиламиновый комплекс I фракции ПНК обеспечивает лучшую защиту от коррозии H_2S. Это означает, что длинный радикал (C_8H_{17}-) в молекуле октиламина обеспечивает высокую экранировку на поверхности металла.

Ключевые слова: сероводород, коррозия, ингибитор, природные нефтяные кислоты, алкиламины, диалкиламины.

STUDY OF PROPERTIES OF INHIBITOR - ALKYL- AND DIALKYLAMINE COMPLEXES OF THE 1-ST FRACTION OF NPA AGAINST H_2S CORROSION IN ACIDIC ENVIRONMENT

© Abbasov Vaqif Magerram (a), Alimadatli Nihad Yusif (a), Rzayeva Nigar Shikar (a), Aghamaliyeva Durna Babek (a), Ayyubov Ilqar Haji (a), Abbaszade Sara Mutallim (a), Asadova Sevda Bakhtiyar (a)

(a) Institute of Petrochemical Processes of Ministry of Science and Education

Abstract. In the course of the studies conducted at the Yu. G. Mamedaliyev Institute of Petrochemical Processes (IPCP), fraction I of natural petroleum acids (NPA) was isolated from

the kerosene fraction obtained from a mixture of Baku oils, on the basis of which the corresponding alkyl and dialkylamine (butylamine, octylamine, diethylamine, dibutylamine) complexes were synthesized, and their structures were studied by the method of IR spectral analysis. 10% solutions of the obtained complexes in 70% isopropyl alcohol were prepared, some physicochemical properties were studied, and extensive studies were carried out in aqueous media rich in H_2S in order to study the protective effect from corrosion processes occurring in the presence of hydrogen sulfide. Based on the test results, it was determined that the octylamine complex I of fraction NPA provides the best protection against H_2S corrosion. This means that the long radical (C_8H_{17}-) in the octylamine molecule provides high shielding on the metal surface.

Key words: hydrogen sulfide, corrosion, inhibitor, natural petroleum acids, alkylamines, dialkylamines.

Введение. Присутствие сероводорода (H_2S) при высоких температурах в процессах нефтепереработки оказывает сильное разрушительное воздействие на окружающую среду. Ниже 260 °C влияние H_2S слабое, но в диапазоне 200–650 °C повышение температуры на каждые 100 °C многократно увеличивает скорость высокотемпературной сульфидной коррозии (ВТСК) [1,2]. Это обусловлено как разложением сероорганических соединений в масле, так и реакцией выделяющегося H_2S с железом и его сплавами [3].

Тиолы и сульфиды в масле при высоких температурах разлагаются с образованием H_2S. H_2S реагирует с металлом, образуя слой FeS. Поскольку этот слой пористый при высоких температурах, он плохо выполняет свою защитную функцию, и коррозия продолжается. При этом в результате частичного окисления H_2S образуется свободная сера, что повышает агрессивность [4,5].

В различных процессах переработки нефти ВТСК происходит при разных температурах: первичная переработка (≈380 °C), каталитический риформинг (до 430 °C), крекинг (≈550 °C), коксование (≈625 °C) и пиролиз (≈830 °C) [6]. В этих условиях разложение карбидов металлов и различные равновесия в газовых смесях (H_2 + H_2S) также влияют на интенсивность коррозии [7].

Присутствие H_2S при высоких температурах также может вызывать наводороживание и водородную хрупкость металла. Хотя в присутствии углеводородов на поверхности металла иногда образуются отложения кокса, создающие временный защитный слой, этот слой легко удаляется, и скорость коррозии дополнительно увеличивается [8].

Наиболее эффективным способом защиты от ВТСК является легирование сталей хромом. При наличии хрома на поверхности металла образуется двойной слой: сверху — рыхлый слой FeS, снизу — плотный и прочный защитный слой состава Fe–Cr–S. Этот плотный слой играет основную защитную роль. При добавлении никеля в стали прочность и непроницаемость покрытия повышаются, а при добавлении одного никеля, наоборот, износостойкость снижается. Наилучший результат достигается при соотношении Cr:Ni более 0,5. Однако одним из наиболее эффективных методов борьбы с коррозией является применение ингибиторов.

Долгие годы считалось, что сероводород является основным агрессивным компонентом при коррозии и сульфидном растрескивании стали и ее сплавов,

используемых в нефтегазодобывающей, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Для обеспечения длительной эксплуатации стальных конструкций в таких средах широко распространено применение ингибиторов коррозии [9–13].

Однако многие промышленные ингибиторы, используемые в настоящее время в промышленности для борьбы с сероводородом, трудно адаптируются к изменяющимся технологическим условиям, их эффективность снижается при изменении окружающей среды, и большинство из них не обладают многофункциональными свойствами. Поэтому возрастает потребность в исследованиях по разработке новых, эффективных и долговечных ингибиторов, предназначенных для защиты стальных материалов в средах, содержащих сероводород.

В этой связи изучение антикоррозионного действия синтезированных нами аминосодержащих органических соединений в агрессивных средах, богатых сероводородом, является актуальным, а исследования в этом направлении имеют практическое значение.

Методы исследования:

Korroziya inhibitorlarının sintezində istifadə olunan aminlər **“**Sigma-Aldrich” firmasından əldə olunmuşdur.

1. Плотность синтезированных соединений определялась по методу ASTM D 5002 на приборе DMA 4500 M, показатель преломления при 20°C – на приборе Abbemat 500 по методике, температура замерзания – по ГОСТ 20287-91 и представлена в таблице 1.
2. ИК-спектры регистрировались в диапазоне волновых чисел 400–4000 $см^{-1}$ на спектрометре «ALPHA» IR-FURYE фирмы Bruker, их графические изображения представлены на рисунках 1, 2 и 3.

Способность испытываемых веществ в качестве ингибиторов защищать металлы от коррозии в водно-углеводородной (водно-нефтяной) среде, содержащей сероводород, определялась следующим методом. Применяемый гравиметрический метод предназначен для количественной оценки суммарного коррозионного эффекта. Данный метод основан на расчете защитного эффекта ингибиторов по изменению скорости коррозии путем сравнения потери массы металлических образцов в среде без ингибиторов и с добавлением ингибиторов. Образцы металла, используемые в эксперименте, были изготовлены из стали марки Ст-3 и отполированы в виде пластин размером 2×4×0,4 см. После полировки на полировальном станке остатки масла и пыли с поверхности образцов очищались ацетоном или спиртом. Затем пластины извлекались пинцетом и точно взвешивались на аналитических весах. В каждом эксперименте использовалась группа образцов, состоящая из трех пластин. Перед началом эксперимента дистиллированная вода насыщалась сероводородом до концентрации 500 мг/л. Содержание H_2S в воде определялось методом иодометрического титрования. Для приготовления испытательной среды сероводородную воду и керосин смешивали в объёмном соотношении 9:1 и заполняли ими стеклянные сосуды объёмом 1 л, используемые для исследования. Стальные пластины подвешивали к этим сосудам на капроновой нити. В течение всего эксперимента смешанную среду непрерывно перемешивали магнитной мешалкой для поддержания стабильной однородности эмульсии. Сравнительные результаты были получены путём параллельного проведения экспериментов как в средах без ингибиторов, так и в средах с ингибиторами.

Влияние исследуемых веществ на процесс коррозии наблюдали при комнатной температуре в течение 6 часов. После завершения эксперимента стальные пластины извлекали из среды и очищали от образовавшихся на них продуктов коррозии. Для этого использовали различные растворы, например, растворы, содержащие 10% H_2SO_4 + 0,5% тиокарбамида или 1% формалина, а также смеси 10% HCl + 1% формалина. Очищенные образцы сначала промывали проточной водой, а затем высушивали ацетоном или этиловым спиртом. Массу пластин до и после эксперимента стабилизировали в эксикаторе в течение 2–3 часов, после чего рассчитывали потерю массы по следующей формуле:

$$\Delta m = m_1 - m_2 \qquad (1)$$

где: m_1 – масса пластины до эксперимента, m_2 – масса после эксперимента. Среднюю потерю металла определяют, исходя из средней массы трёх пластин. Скорость коррозии рассчитывают как в среде без ингибитора, так и в среде с ингибитором по следующим формулам:

$$\rho_0 = \Delta m_0 / (S\ t) \qquad (2)$$

$$\rho_i = \Delta m_i / (S\ t) \qquad (3)$$

где: S – среднее значение общей площади поверхности пластин ($м^2$), t – продолжительность эксперимента (часы), ρ_0 – скорость коррозии в среде без ингибиторов ($г/м^2$•час), ρ_i – скорость коррозии в среде с ингибиторами ($г/м^2$•час). Эффективность защиты (Z) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z = ((\rho_0 - \rho_i) / \rho_0) \times 100\% \qquad (4)$$

Другим важным показателем, используемым при оценке ингибирующей способности, является коэффициент ретардации (γ), который рассчитывается следующим образом:

$$\gamma = \rho_0 / \rho_i \qquad (5)$$

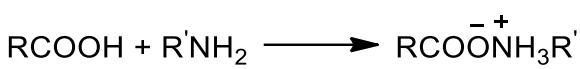
Этот коэффициент выражает, во сколько раз ингибитор снижает скорость коррозии и позволяет количественно оценить эффективность действия ингибитора..

Экспериментальная часть:

В ходе исследований, проводимых в Институте нефтехимических процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева (ИНХП), из керосиновой фракции, полученной из смеси бакинских нефтей, была выделена первая фракция (I) природных нефтяных кислот (ПНК), на основе которой синтезированы соответствующие алкил- и диалкиламинные комплексы. Для синтеза комплексов были использованы следующие первичные амины: бутиламин ($C_4H_9NH_2$), октиламин ($C_8H_{17}NH_2$), диэтиламин ($(C_2H_5)_2NH$), дибутиламин ($(C_4H_9)_2NH$). Синтез комплексов осуществлялся следующим образом:

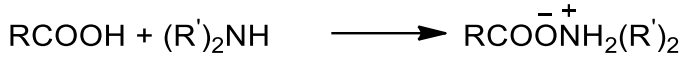
В ходе реакции природные нефтяные кислоты, алкил- и диалкиламины брали в молярном соотношении 1:1, а синтез органических комплексов проводили при интенсивном перемешивании в течение 20-25 минут. В ходе реакции нет необходимости обеспечивать внешний температурный режим, так как реакция экзотермическая и сопровождается выделением большого количества энергии. Комплексы представляют собой желтоватые жидкости с выходом 99,1–99,8%. Ниже приведены общие схемы синтеза алкильных и диалкиламинных комплексов ТНТ в мольном соотношении 1:1.

Схема 1. Общее уравнение реакции синтеза комплексов природных нефтяных кислот с алкиламинами:



где: R= остаток природной нефтяной кислоты, $R' = C_4H_9, C_8H_{17}$

Схема 2. Общее уравнение реакции синтеза комплексов природных нефтяных кислот с диалкиламинами:



где: R= остаток природной нефтяной кислоты, $R' = (C_2H_5)_2, (C_4H_9)_2$

Условные наименования полученных амидоаминов приведены ниже:

1. Комплекс, полученный на основе фракции I ПНК и бутиламина (N-1)
2. Комплекс, полученный на основе фракции I ПНК и октиламина (N-2)
3. Комплекс, полученный на основе фракции I ПНК и диэтиламина (N-3)
4. Комплекс, полученный на основе фракции I ПНК и дибутиламина (N-4)

Физико-химические свойства растворов реагентов, полученных из фракции I природных нефтяных кислот, приведены в таблице 1

Таблица 1

Физико-химические свойства 10% растворов аминных комплексов 1-ой фракции ПНК в 70% ИПС

Показатели :	Образцы			
	N-1	N-2	N-3	N-4
Плотность (г/см³)	0.8862	0.8833	0.8913	0,8908
Коэффициент преломления (при 20°С)	1.3803	1.3811	1.3813	1,3809
Температура застывания, °С	-38	-44	-48	-40
Кислотное число мг·КОН/г	-	-	-	-

Как видно из таблицы, плотность 10%-ных растворов в 70%-ном ИПС находится в диапазоне 0,8833–0,8913 г/см³; наибольшее значение зафиксировано для N-3 (0,8913), наименьшее для N-2 (0,8833). Показатель преломления (20 °C) также показывает небольшой рост в соответствии с плотностью (1,3803–1,3813), что свидетельствует о том, что оптическая плотность изменяется параллельно с увеличением состава/структурной плотности раствора. С точки зрения температуры замерзания, образец N-3 имеет наилучшую низкотемпературную характеристику (-48 °C), за ним следуют N-2 (-44 °C), N-4 (-40 °C) и N-1 (-38 °C); этот результат свидетельствует о превосходстве комплекса N-3 с точки зрения хладотекучести и замедления образования кристаллической фазы. Кислотное число указано как «–», что означает, что оно не определялось. Это можно объяснить тем, что в результате комплексообразования аминогрупп с кислотными остатками практически не остаётся свободного кислотного компонента.

Ниже представлены графические изображения ИК-спектров алкильных и диалкиламинных комплексов фракции I ПНК.

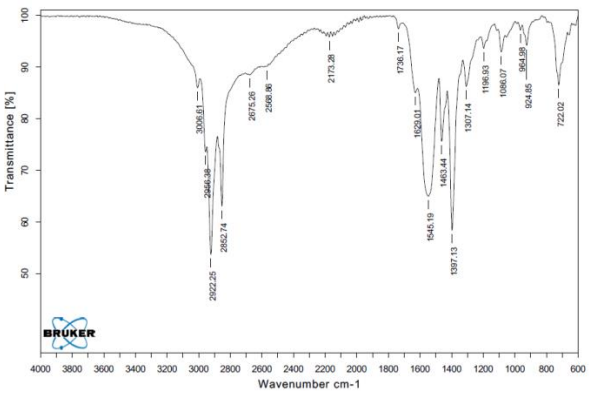


Рис. 1. ИК-спектр бутиламинового комплекса фракции I ПНК

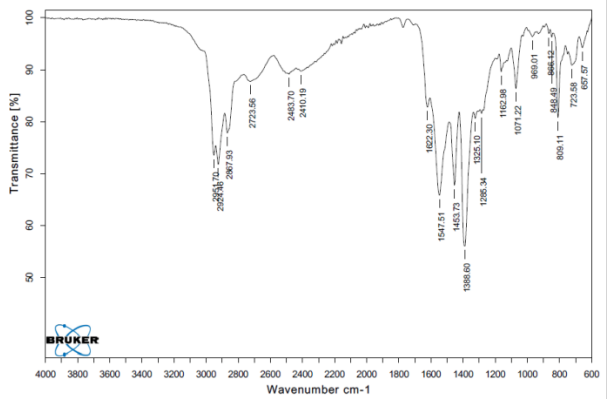


Рис. 2. ИК-спектр октиламинового комплекса фракции I ПНК

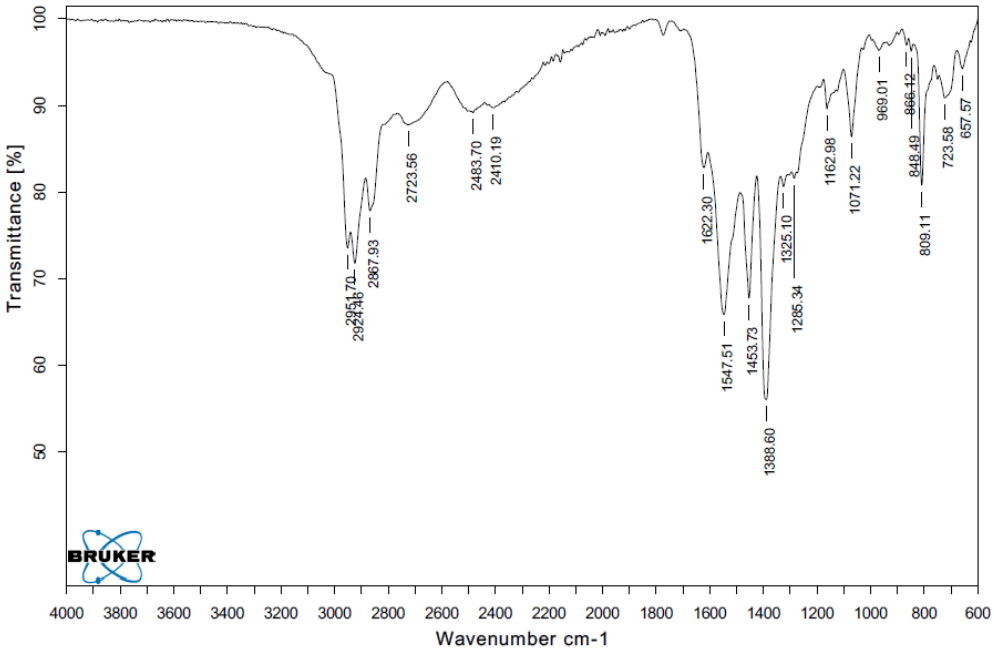


Рис. 3. ИК-спектр диэтиламинового комплекса фракции I ПНК

В ИК-спектре бутиламинового комплекса (N-1) фракции I природной нефтяной кислоты деформационные и валентные колебания связи С-Н групп CH_3 и CH_2 обнаруживаются в области 722, 1453, 2870, 2922, 2956 $см^{-1}$; деформационные колебания связи N–H составляют 1629 $см^{-1}$; валентные колебания группы COO^- составляют 1307, 1397, 1549 $см^{-1}$; валентные колебания группы NH^+ (аммонийная полоса) составляют 2414, 2477, 2584 $см^{-1}$.

В ИК-спектре комплекса октиламина (N-2) фракции I природной нефтяной кислоты деформационные и валентные колебания связи С–Н групп CH_3 и CH_2 проявляются при 723, 1453, 2867, 2924, 2951 $см^{-1}$; деформационные колебания связи N–H составляют 1622 $см^{-1}$; валентные колебания группы COO^- составляют 1388, 1547 $см^{-1}$; валентные колебания группы NH+ (аммонийная полоса) составляют 2483, 2723 $см^{-1}$.

Деформационные и валентные колебания связи С–Н групп CH_3 и CH_2 в ИК-спектре комплексов диэтиламина и дибутиламина (N-3 и N-4) фракции I природной нефтяной кислоты составляют 723, 1453, 2867, 2924, 2951 $см^{-1}$; деформационное колебание связи N–

Н составляет 1622 $см^{-1}$; валентные колебания группы COO^- составляют 1325, 1388, 1547 $см^{-1}$; валентное колебание группы NH^+ (аммонийная полоса) составляет 2410, 2483, 2723 $см^{-1}$.

Обсуждение результатов:

10% растворы алкил- и диалкиламинных комплексов фракции I ПНК в 70% изопропиловом спирте были испытаны в качестве ингибиторов коррозии образца стали Ст-3 в кислой среде.

В ходе исследований были проанализированы скорость коррозии, коэффициент замедления, защитный эффект и коэффициент покрытия поверхности этими соединениями. Результаты систематизированы в таблице и приведены ниже (таблица 2).

Таблица 2

Результаты исследования защитного действия 10% растворов комплексов ПНК фракции I с алкил- и диалкиламинами в 70% изопропиловом спирте на сталь Ст-3 в среде сероводорода

Продукт	Концентрация, С, моль/л	Скорость коррозии ρ,г/м²·ч	Коэффициент торможения, Г	Защитный эффект, Z %	Коэффициент поверхностного покрытия, (θ)
Без ингибитора	–	5.6898	–	–	–
ПНК+бутиламин (N-1)	1000	4.3003	1.32	23	0.23
	2000	4,0573	1,4	29	0.29
	3000	2,8688	1,9	50	0.50
	4000	1.4065	4.05	75.3	0.75
ПНК+октиламин (N-2)	1000	2.3102	2.45	60	0.60
	2000	1,7144	3,31	69,8	0,69
	3000	0,7377	7,71	87,03	0,87
	4000	0.1001	56.8	98.2	0.98
ПНК+диэтиламин (N-3)	1000	4.2121	1.34	24.2	0.24
	2000	3.3606	1.69	41	0.41
	3000	2.5409	2.24	55	0.55
	4000	1.2031	4.73	79	0.79
ПНК+дибутиламин (N-4)	1000	2.4115	2.35	58	0.58
	2000	1,8442	3,08	67,5	0,67
	3000	0,8743	6,5	87,4	0,84
	4000	0.3027	18.9	95	0.95

Как видно из таблицы 2, защитный эффект 10%-ных растворов комплексов бутиламина, октиламина, диэтиламина и дибутиламина фракции I ПНК в 70%-ном растворе ИПС от сероводородной коррозии составляет 23%, 60%, 24,2 и 58% соответственно. При увеличении концентрации ингибиторов от 1000 ppm до 2000 ppm защитный эффект составляет 29%, 69,8%, 41% и 67,5% соответственно.

При концентрации 4000 ppm защитный эффект составляет 75,3%, 98,2%, 79% и 95,5% соответственно.

Результаты показывают, что комплекс октиламина фракции I ПНК обеспечивает лучшую защиту от сероводородной коррозии. Это означает, что длинный радикал (C_8H_{17}-)

в молекуле октиламина обеспечивает высокую степень защиты поверхности металла.

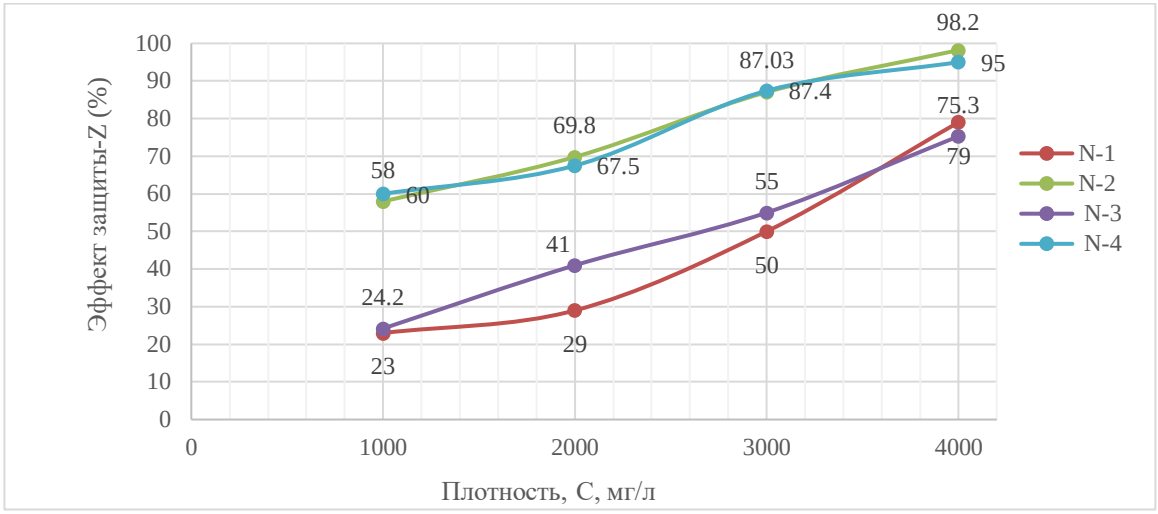


Рис. 4. Зависимость защитного эффекта 10 %-ных растворов аминных комплексов фракции 1 ПНК в 70% ИПС от концентрации

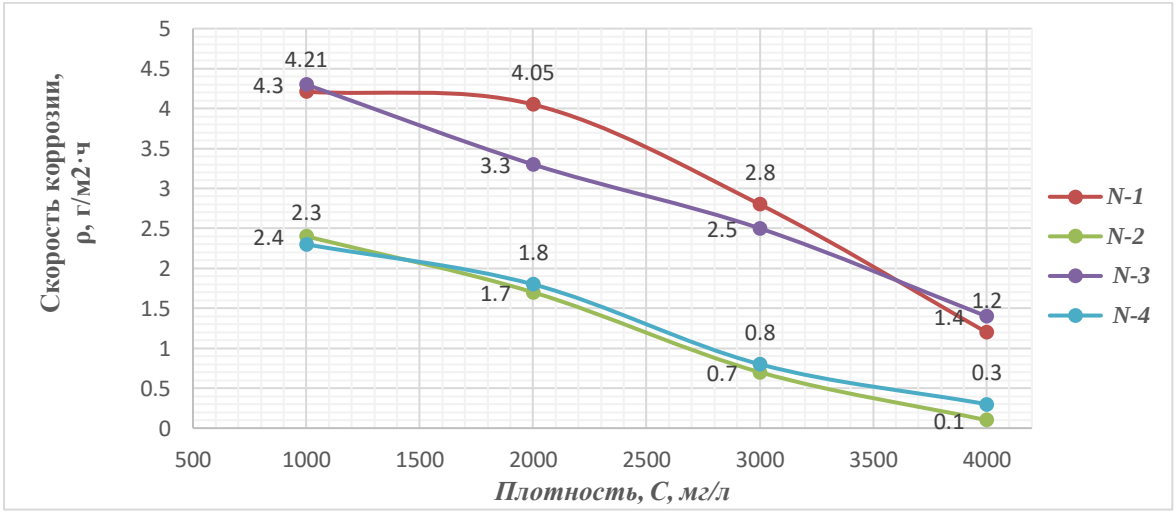


Рис. 5. Зависимость скорости коррозии 10 %-ных растворов аминных комплексов фракции 1 ПНК в 70% ИПС от концентрации

Условия испытаний определялись на основе 6-часовых экспериментов в среде, богатой сероводородом в концентрации 500 мг/л, с добавлением ингибиторов и без них. В качестве коррозионной среды использовалась смесь воды и керосина, приготовленная в объёмном соотношении 9:1. Испытания проводились при комнатной температуре (20–22 °C).

Без добавления ингибитора скорость коррозии образцов стали Ст-3 составила 5,6898 г/м²•ч.

При нанесении состава, синтезированного на основе фракции I ПНК и бутиламина (N-1), в концентрации 1000 мг/л скорость коррозии составила 4,3003 г/м²•ч, при концентрации 2000 мг/л – 4,0573 г/м²•ч, при концентрации 3000 мг/л – 2,8688 г/м²•ч.

Эти показатели сопровождались защитным эффектом 23% и 50% соответственно.

При увеличении концентрации до 4000 мг/л скорость коррозии снизилась до 1,4065 г/м²•ч, а защитный эффект достиг 75,3%.

Комплекс октиламина (N-2) проявил более высокий защитный эффект. При

концентрации 1000 мг/л скорость коррозии составила 2,3·102 г/м²•ч, при концентрации 2000 мг/л — 1,7144 г/м²•ч, при 3000 мг/л — 0,7377, а при 4000 мг/л — всего 0,1001 г/м²•ч.

Эти показатели сопровождались высоким защитным эффектом от 60% до 98,2%.

Диэтиламиновый комплекс (N-3) показал схожие результаты: скорость коррозии составила 4,2121 г/м²•ч при 1000 мг/л, 3,3606 г/м²•ч при 2000 мг/л, 2,5409 г/м²•ч при 3000 мг/л и 1,2031 г/м²•ч при 4000 мг/л. Эффективность защиты увеличилась с 24,2% до 79%.

Дибутиламиновый комплекс (N-4) оказался одним из соединений, показавших высокую эффективность. Скорость коррозии составила 4,4115 г/м²•ч при 1000 мг/л, 1,8442 г/м²•ч при 2000 мг/л, 0,8743 г/м²•ч при 3000 мг/л и 0,3027 г/м²•ч при 4000 мг/л. Таким образом, был достигнут высокий защитный эффект от 58% до 95%.

При применении этих комплексов коэффициент замедления (θ) значительно увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.С. Белеевский, Ю.И. Куделин. Коррозия: теория и практика. М: Издательство «Спутник +», 2011, 276 с.
2. Abbasov V.M. Korroziya. II nəşr. Bakı: “Elm”, 2023, 360 c.
3. V.M. Abbasov, D.B. Ağamalıyeva. Mikrobioloji korroziya və onunla mübarizə üsulları. Bakı, “Elm”, 2023, 276 s.
4. А.С. Неверов, Д.А. Родченко, М.И. Цырлин. Коррозия и защита материалов. М: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. 224 с.
5. Р. Ангал. Коррозия и защита от коррозии. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013. 334 с.
6. LaQue's Handbook of Marine Corrosion. Second Edition. Edited by. David A. Shifler. Office of Naval Research Naval Materials Division Arlington, VA, USA. WİLEY. Canada 2022.
7. Corrosion Science: modern trends and applications Editors: N. Suresh Kumar, P. Baneriee, H. Manojunatha & K Chandra Babu Naidu. Bentham Books imprint. India. 2021
8. Corrosion inhibitors in the Oil and Gas Industry. Edited by Viswanathan S. Saji Saviour A.Umoren. Wiley-VCH Velinheim, Germany, 2020. 437.
9. Аббасов, В. М., Мамедбейли, Э. Г., Агамалиева, Д. Б., Мурсалов, Н. И., Махмудова, Л. А., & Мамедова, Н. М. (2018). Синтез неорганических комплексов производных имидазолина на основе синтетических нефтяных кислот и их кинетическое действие на сероводородную коррозию. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, (2). С. 39-43.
10. Abbasov, V. M., Almadatli, N. Y., Azizov, R. E., Rzayeva, N. S., Aghamaliyeva, D. B., Ahmadbayova, S. F., & Abbasova, A. F. (2025). Effect ofcomplexes of different fractions of natural petroleum acids with different alkyl amines on the vital activity of sulphate-reducing bacteria. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 26(2).
11. Abbasov, V. M., Mursalov, N. I., Aghamaliyeva, D. B., Duzdaban, K. R., Rzayeva, N. S., & Ahmadov, H. A. (2024). Study of the effectiveness of a mild steel corrosion inhibitor in H2S medium. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 25(2).
12. Кулиев, А.А., Мурсалов, Н.И., Джабраилзаде, Ш.З. [и др.]. Исследование производных имидазолинов в качестве ингибиторов сероводородной коррозии /

Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований, Сбор. мат-ов XXI Межд. науч.-практ. конф., - Новосибирск: 2015. С. 215-217.

13. Кулиев, А.А., Мурсалов, Н.И., Джабраилзаде, Ш.З. [и др.]. Исследование ингибирующего действия производных имидазолинов в H_2S содержащей среде / «Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории» материалы IV международной научно-практической конференции, Саратов: 2015. С. 46-48.

REFERENCES

1. V.S. Beleevsky, Yu.I. Kudelin. Corrosion: theory and practice. M: Publishing house “Sputnik +”, 2011, 276 p.
2. Abbasov V.M. Korroziya. II print. Baku: “Elm”, 2023, 360 p.
3. V.M. Abbasov, D.B. Ağamalıyeva. Microbiological corrosion and methods of combating it. Baku, “Elm”, 2023, 276 s.
4. A.C. Neverov, D.A. Rodchenko, M.I. Tsirlin. Corrosion and protection of materials. M: FORUM: INFRA-M, 2013. 224 p.
5. R. Angal. Corrosion and corrosion protection. Dolgoprudny: Publishing House "Intellect", 2013. 334 p.
6. LaQue's Handbook of Marine Corrosion. Second Edition. Edited by. David A. Shifler. Office of Naval Research Naval Materials Division Arlington, VA, USA. WİLEY. Canada 2022.
7. Corrosion Science: modern trends and applications Editors: N. Suresh Kumar, P. Baneriee, H. Manojunatha & K Chandra Babu Naidu. Bentham Books imprint. India. 2021
8. Corrosion inhibitors in the Oil and Gas Industry. Edited by Viswanathan S. Saji Saviour A.Umoren. Wiley-VCH Velinheim, Germany, 2020, 437
9. Abbasov, V. M., Mamedbeyli, E. G., Agamaliyeva, D. B., Mursalov, N. I., Makhmudova, L. A., & Mamedova, N. M. (2018). Synthesis of inorganic complexes of imidazoline derivatives based on synthetic petroleum acids and their kinetic effect on hydrogen sulfide corrosion. Transport and storage of petroleum products and hydrocarbon feedstock, (2). Pp. 39-43.
10. Abbasov, V. M., Almadatli, N. Y., Azizov, R. E., Rzayeva, N. S., Aghamaliyeva, D. B., Ahmadbayova, S. F., & Abbasova, A. F. (2025). Effect of complexes of different fractions of natural petroleum acids with different alkyl amines on the vital activity of sulphate-reducing bacteria. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 26(2).
11. Abbasov, V. M., Mursalov, N. I., Aghamaliyeva, D. B., Duzdaban, K. R., Rzayeva, N. S., & Ahmadov, H. A. (2024). Study of the effectiveness of a mild steel corrosion inhibitor in H2S medium. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 25(2).
12. Kuliev, A. A., Mursalov, N. I., Jabrailzade, Sh. Z. [et al.]. Study of imidazoline derivatives as hydrogen sulfide corrosion inhibitors / A new word in science and practice: hypotheses and testing of research results, Collected. materials of the XXI Int. scientific-practical. Conf., - Novosibirsk: -2015. Pp.215-217.
13. Kuliev, A.A., Mursalov, N.I., Jabrailzade, Sh.Z. [et al.]. Study of the inhibitory effect of imidazoline derivatives in H2S-containing environment / "Science today: postulates of the past and modern theories" materials of the IV international scientific and practical conference, Saratov: 2015. Pp.46-48.