

ВЛИЯНИЕ МУРАВЬИНОЙ КИСЛОТЫ И ИНГИБИТОРА АМДОР ИК-2 НА УГЛЕКИСЛОТНУЮ КОРРОЗИЮ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В МОДЕЛЬНОЙ ПЛАСТОВОЙ ВОДЕ САМОТЛОРСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

П. Н. Бернацкий, Д. В. Балыбин, А. А. Мещерякова

*Кафедра химии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет
имени Г. Р. Державина», pasha-bern@yandex.ru, Тамбов, Россия*

Ключевые слова: анодная реакция; ингибитор; катодная реакция; коррозия; муравьиная кислота; сталь; углекислый газ.

Аннотация: С помощью гравиметрических испытаний и метода потенциодинамической поляризации исследовано коррозионное поведение стали в модельной пластовой воде Самотлорского нефтяного месторождения (среде М1) при насыщении углекислым газом, а также в присутствии добавок муравьиной кислоты. Изучено влияние ингибитора АМДОР ИК-2 на скорость коррозии стали в данных условиях. Показано, что введение различных концентраций добавки НСООН (от 5 до 50 мг/л) в присутствии одной избыточной атмосферы диоксида углерода усиливает скорость коррозии стали в среде М1.

Введение

Углекислый газ (CO_2) является естественным компонентом воздуха, содержание его в атмосфере составляет приблизительно 0,04 %. Растворимость углекислого газа значительно превышает растворимость кислорода, и процессы атмосферной коррозии протекают с некоторым участием углекислого газа [1]. Таким образом, присутствующий в атмосфере оксид углерода (IV) является коррозионно-агрессивной микропримесью воздуха, которая может выступать в роли эффективного катодного деполяризатора и стимулятора атмосферной коррозии металлов [2].

В продукции ряда эксплуатируемых в настоящее время нефтегазовых объектов (Бованенковское, Самотлорское, Уренгойское нефтегазоконденсатные месторождения и др.) также содержится повышенное количество коррозионно-активного оксида углерода (IV), поэтому проблема защиты нефтегазового оборудования от углекислотной коррозии имеет большое значение. Добавление углекислого газа является одним из способов извлечения нефти, но это еще в значительно большей степени стимулирует коррозионные разрушения металлического оборудования. Увеличение объема добываемой сырой нефти, содержащей, кроме диоксида углерода, другие коррозионно-агрессивные компоненты приводит к повышению скорости разрушения технологического оборудования. В настоящее время одной из приоритетных задач является поиск новых и совершенствование существующих методов защиты от углекислотной коррозии, которые позволят продлить срок службы нефтепромышленного оборудования. При этом коррозия металлов систематически приводит к выходу из строя магистральных нефте- и продуктопроводов, а в дальнейшем к многочисленным выбросам вредных веществ в ок-

ружающую среду, что, в целом, вызывает существенное ухудшение экономической и экологической ситуации в стране [3].

Из литературных источников [3 – 4] известно, что наличие в коррозионной среде карбоновых кислот приводит к стимулированию углекислотной коррозии и затем к значительным потерям при добыче и транспортировке нефти и природного газа. Поэтому проблема защиты техники, эксплуатирующейся в данных условиях, от углекислотной коррозии, как и от других видов коррозии, в настоящее время весьма актуальна. Существует несколько способов решения данной проблемы, но одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов торможения разрушения металлического оборудования является использование различных ингибиторов коррозии. Например, перспективным направлением для эффективной противокоррозионной защиты в средах с H_2S и CO_2 является использование разнообразных летучих ингибиторов коррозии [4]. Кроме того, весьма эффективно использование в качестве ингибиторов углекислотной коррозии стали солей аминов с высшими карбоновыми кислотами [5, 6].

В работе [7] изучено влияние добавок уксусной кислоты на коррозионное поведение стали в пластовой воде М1, насыщенной углекислым газом и показано, что скорость коррозии увеличивается с увеличением концентрации исследуемых кислот. С помощью электрохимических исследований авторами [6] установлено, что при постоянной величине рН введение уксусной кислоты в углекислотную среду тормозит анодную реакцию ионизации металла и увеличивает предельный катодный ток. Кроме того, в работе [8] показано, что главной причиной разрушения оборудования на Самотлорском нефтяном месторождении является локальная (питтинговая) коррозия стенок труб и сварных соединений, которая возникает, прежде всего, за счет обводненности нефтяных пластов. При этом даже легированные стали в условиях присутствия следов влаги и повышенных парциальных давлений оксида углерода (IV) не всегда проявляют достаточную устойчивость, особенно при наличии дополнительных факторов коррозионного влияния (температуры, агрессивных примесей в газе и т.д.).

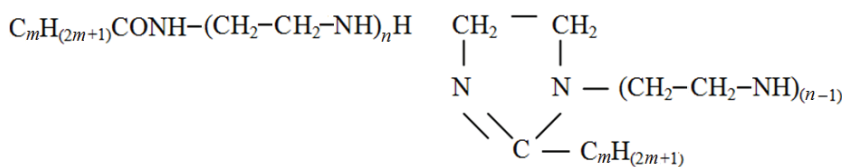
Отмечено, что противокоррозионная эффективность действия большинства органических ингибиторов основана на их достаточной адсорбционной способности при контакте с поверхностью защищаемого металла [9]. Данная способность может достигать достаточно больших значений за счет присутствующих в молекуле ингибитора атомов или функциональных групп, содержащих, например, серу, азот, кислород и фосфор, которые за счет водородных и донорно-акцепторных связей приводят к активному адсорбционному взаимодействию ингибитора с металлической поверхностью.

В работе [10] проведена оценка различных ингибиторов углекислотной и сероводородной коррозии, показано увеличение их эффективности во времени за счет торможения преимущественно анодного процесса.

Цель работы – изучение влияния углекислого газа, добавок муравьиной кислоты и ингибитора АМДОР ИК-2 на скорость коррозии стали марки Ст3 в модельной пластовой воде Самотлорского нефтяного месторождения (М1).

Методика эксперимента

Предметом исследования являлся ингибитор АМДОР ИК-2, который представляет собой маслянистую жидкость, плохо растворимую в воде, но хорошо растворимую в спирте, поэтому его в исследуемую среду вводили в виде спиртового раствора. Ингибитор АМДОР ИК-2 состоит из активной формы, растворенной в апротонном растворителе, причем активная форма является технологической смесью полиаминоамидов с полиаминоимидазолинами [7, 12]:



Для проведения исследований использованы образцы из углеродистой стали марки Ст3 (масс. %: С – 0,2; Мп – 0,5; Si – 0,15; Р – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,30; Ni – 0,20; Cu – 0,20; Fe – 98,36).

Коррозионные испытания проводились при комнатной температуре. В качестве рабочего раствора использовалась среда М1. Модельная пластовая вода М1 – имитат пластовой воды Самотлорского нефтяного месторождения [10], имеет следующий состав, г/л: NaCl – 17; CaCl₂ – 0,2; MgCl₂·6H₂O – 0,2; NaHCO₃ – 0,8. В исследуемую среду добавляли HCOOH мг/л: 5, 10, 15, 20, 50.

Часть растворов насыщалась CO₂ из баллона высокого давления до одной избыточной атмосферы с манометрическим контролем давления газа.

С поверхности образцов стали Ст3 полностью удалялись продукты коррозии, и измерялась площадь поверхности. Затем образцы погружались в раствор М1, к которому добавлялся ингибитор коррозии АМДОР ИК-2 концентраций 100 и 200 мг/л и муравьиная кислота с указанными выше концентрациями. Опыты продолжались в течение 5 и 10 суток (120 и 240 часов). Затем образцы стали Ст3 извлекали из агрессивных сред. С их поверхности удалялись продукты коррозии. Образцы повторно взвешивали и рассчитывали потерю массы после воздействия агрессивной среды. По потере массы образца Δm , г, определялась скорость коррозии K , г/(м²ч),

$$K = \frac{\Delta m}{S\tau}, \quad (1)$$

где S – площадь поверхности образца, м²; τ – время воздействия агрессивной среды, ч.

Зная скорость коррозии, рассчитывался защитный эффект Z , %, ингибирующей добавки

$$Z = \frac{K_0 - K_i}{K_0}, \quad (2)$$

где K_0 , K_i – скорости коррозии соответственно без добавления ингибирующих добавок (фон) и при их добавлении.

Поляризационные кривые в исследуемых растворах получены с использованием потенциостата ИРС-Pro (производство ИФХЭ им. А. Н. Фрумкина РАН) потенциодинамическим методом. В исследованиях использована трехэлектродная электрохимическая ячейка. Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный, вспомогательный – платиновый.

Потенциалы пересчитаны по н.в.ш. (нормальной водородной шкале). Поляризация проведена из катодной области в анодную со скоростью развертки – 0,66 мВ/с ($E - E_{кор} = \pm 200$ мВ). Измерения дублировались не менее 3 раз.

Экспериментальные результаты

Растворенные в пластовой воде Самотлорского нефтяного месторождения соли являются электролитами, при этом наличие в водном конденсате низкомолекулярной муравьиной кислоты приводит к повышению электропроводности среды и, следовательно, ускорению процесса коррозионного разрушения, что причи-

нит огромный вред оборудованию и трубопроводным системам нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин. Наличие углекислого газа еще в более значительной степени стимулирует коррозионные разрушения металлического оборудования.

В целях оценки влияния содержания углекислого газа в атмосфере на скорость коррозии стали Ст3 в пластовой воде М1, имитирующей пластовую воду Самотлорского нефтяного месторождения, проведены гравиметрические измерения в отсутствие CO_2 и при наличии одной избыточной атмосферы CO_2 в течение 5 и 10 суток. Влияние продолжительности испытаний и наличия углекислого газа на скорость коррозии K в среде М1 на стали Ст3 представлено в табл. 1, где показано, что наличие одной атмосферы углекислого газа в коррозионную среду М1 является фактором, ускоряющим коррозионное разрушение стали Ст3 приблизительно в 2 раза. При этом увеличение времени испытаний с 5 до 10 суток приводит к незначительному уменьшению скорости коррозионного разрушения стали, что, очевидно, связано с накоплением продуктов коррозии на поверхности стали.

Из литературных источников [10, 13] известно, что наличие в пластовых водах низкомолекулярных карбоновых кислот приводит к стимулированию процесса углекислотной коррозии. С целью оценки подобного воздействия нами было изучено влияние введения в пластовую воду М1 различных концентраций муравьиной кислоты на скорость коррозии стали как в отсутствие, так и в присутствии углекислого газа.

В таблице 2 представлено влияние различных концентраций добавки HCOOH (от 5 до 50 мг/л) на скорость углекислотной коррозии в среде М1, насыщенной углекислым газом, на стали Ст3 и в отсутствие ингибитора (продолжительность испытаний 5 суток). При наличии одной атмосферы углекислого газа в исследуемой среде М1 введение добавок муравьиной кислоты в коррозионную среду вызывает повышение скорости коррозионного процесса, причем при введении 5 мг/л HCOOH скорость коррозии возрастает в 1,7 раза. Из таблицы можно видеть, что скорость коррозии составляет при концентрации кислоты 5 мг/л – 211 г/(м²ч), а при 50 мг/л – 274 г/(м²ч), то есть при повышении концентрации HCOOH в 10 раз скорость коррозионного разрушения стали увеличивается приблизительно в 1,3 раза за счет увеличения кислотности среды, что согласуется с литературными данными.

В целях оценки влияния наличия углекислого газа и концентрации ингибитора АМДОР ИК-2 на защитное действие по отношению к стали Ст3 в отсутствие муравьиной кислоты проделаны соответствующие гравиметрические измерения в среде М, продолжительность испытаний – 5 суток (табл. 3). Результаты исследований показали, что введение ингибитора АМДОР ИК-2 и повышение его концентрации закономерно тормозит скорость коррозии в рассматриваемой среде, причем введение одной избыточной атмосферы углекислого газа не влияет на характер

Таблица 1

Влияние продолжительности испытаний и наличия одной избыточной атмосферы углекислого газа на скорость коррозии в среде М1 на стали Ст3

Среда	$K \times 10^3, \text{ г}/(\text{м}^2\text{ч})$	
	5 суток	10 суток
М1	54,48	49,26
М1 + 1 атм. CO_2	125,16	111,50

Таблица 2

Влияние концентрации муравьиной кислоты на скорость углекислотной коррозии (1 атм. CO₂) в среде М1 на стали Ст3

Концентрация муравьиной кислоты в пластовой воде М1, мг/л (1 атм. CO ₂)	$K \times 10^3$, г/(м ² ч)
0	125,16
5	211,08
10	245,6
15	257,8
20	260,2
50	274,9

Таблица 3

Влияние концентрации ингибитора АМДОР-ИК-2 и наличия углекислого газа на скорость углекислотной коррозии в среде М1 на стали Ст3 в отсутствие добавок муравьиной кислоты

Наличие углекислого газа	Концентрация ингибитора АМДОР-ИК-2, мг/л	$K_{cp} \times 10^3$, г/(м ² ч)	Z, %
Отсутствует	0	54,5	–
	100	48,7	10,6
	200	36,9	32,3
1 атм.	0	125,2	–
	100	89,2	28,8
	200	52,3	58,2

изменения защитного эффекта. Видно, что в пластовой воде в отсутствие CO₂ введение 100 мг/л ингибитора незначительно тормозит коррозию (защитный эффект составляет 10,6 %), увеличение концентрации ингибитора повышает противокоррозионную эффективность до 32 %. Введение в изучаемую атмосферу оксида углерода (IV) повышает защитную эффективность при исследуемых концентрациях до 29 и 58 % соответственно, то есть при увеличении концентрации ингибитора на 100 мг/л защитный эффект исследуемого ингибитора в отсутствие муравьиной кислоты повышается в 2–3 раза.

В целях изучения возможности торможения коррозии в присутствии углекислого газа стали Ст3 в пластовой воде М1 в присутствии добавок муравьиной кислоты изучено защитное действие ингибитора АМДОР ИК-2 в концентрации 100...200 мг/л. В таблице 4 представлено влияние концентрации муравьиной кислоты и ингибитора АМДОР-ИК-2 на скорость углекислотной коррозии в среде М1 (время экспозиции 5 суток). Скорость коррозии в присутствии ингибитора в коррозионной среде с увеличением концентрации HCOOH от 5 до 50 мг/л закономерно уменьшается. Также отметим, что в отсутствии муравьиной кислоты в пластовой воде М1 при концентрации ингибитора 100 мг/л защитная эффективность ингибитора незначительная и составляет 28 %, с увеличением же концентрации ингибитора до 200 мг/л эффект торможения коррозии увеличивается до 58 %.

Введение в коррозионную среду 5 мг/л муравьиной кислоты повышает защитное действие ингибитора коррозии до 61 и 78 % соответственно. Повышение

Таблица 4

Влияние ингибитора АМДОР ИК-2 и различной концентрации муравьиной кислоты на скорость углекислотной коррозии в среде М1 на стали Ст3 при наличии одной избыточной атмосферы CO₂

Концентрация муравьиной кислоты, мг/л	$K \times 10^3$, г/(м ² ч)	Z, %
–	<u>89,2</u>	<u>28,8</u>
	52,3	58,2
5	<u>82,3</u>	<u>61,0</u>
	46,1	78,2
10	<u>83,1</u>	<u>66,2</u>
	43,1	82,5
15	<u>74,7</u>	<u>71,0</u>
	43,4	83,2
20	<u>69,7</u>	<u>73,2</u>
	42,1	83,8
50	<u>65,6</u>	<u>76,1</u>
	43,4	84,2

Примечание. В числителе представлены данные для концентрации ингибитора АМДОР ИК-2 – 100 мг/л, знаменателе – 200 мг/л.

концентрации муравьиной кислоты, закономерно увеличивает эффект замедления коррозии до 76 и 84 % в случае содержания 50 мг/л HCOOH. Очевидно, увеличение защитного действия обусловлено синергетическим эффектом при действии ингибитора АМДОР ИК-2 и вводимых в коррозионную среду добавок муравьиной кислоты.

Также в целях оценки эффективности исследуемого ингибитора в рассматриваемых средах проведены потенциостатические исследования влияния содержания муравьиной кислоты и наличия одной избыточной атмосферы CO₂ на металлическую поверхность низкоуглеродистой стали Ст3 в нейтральной среде М1 при различных концентрациях HCOOH и ингибирующей добавки АМДОР ИК-2.

На рисунке 1 представлены катодные и анодные поляризационные кривые стали Ст3 в пластовой воде М1в отсутствии CO₂, а также при наличии одной избыточной атмосферы углекислого газа, при добавлении кислоты и ингибитора в раствор пластовой воды М1. Из графика видно, что введение CO₂ в пластовую воду М1 смещает в отрицательную сторону стационарный потенциал, незначительно ускоряя анодную реакцию и замедляя катодный процесс в кинетической области и ускоряя ее в диффузионной области. Введение в коррозионную среду М1 муравьиной кислоты в концентрации 5 мг/л еще в большей степени смещает стационарный потенциал в отрицательную сторону, почти не влияя на катодный процесс в кинетической и диффузионной области, при этом еще больше ускоряя анодный процесс. Введение в пластовую воду М1 50 мг/л HCOOH смещает потенциал коррозии в отрицательную сторону до –0,505 В, еще в большей степени замедляет катодный процесс и ускоряет анодную реакцию ионизации металла.

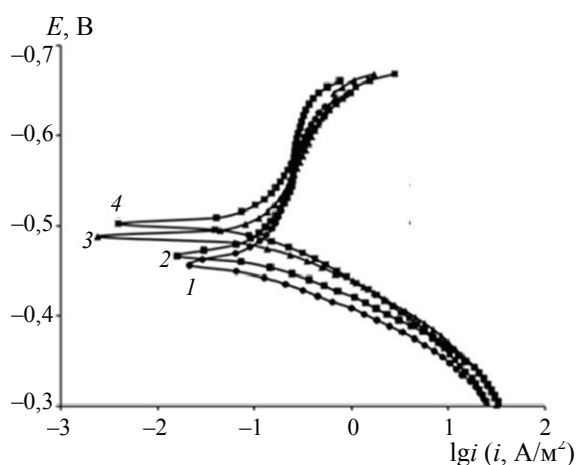


Рис. 1. Катодные и анодные поляризационные кривые стали Ст3, в пластовой воде М1 в отсутствии содержания оксида углерода (IV) и при наличии одной избыточной атмосферы CO_2 и различными концентрациями муравьиной кислоты

Таким образом, введение углекислого газа и различных добавок муравьиной кислоты в пластовую воду М1 увеличивает скорость коррозии за счет ускорения протекания анодного процесса ионизации металла.

На рисунке 2 представлено влияние наличия одной избыточной атмосферы углекислого газа и концентрации ингибитора АМДОР ИК-2 на скорость парциальных электродных реакций в пластовой воде М1. Из хода поляризационных кривых видно, что введение ингибитора АМДОР ИК-2 в пластовую воду М1 без CO_2 смещает потенциал коррозии в положительную сторону с увеличением концентрации ингибитора, при этом значительно ускоряя катодную реакцию и замедляя анодный процесс растворения металла. Введение углекислого газа и ингибитора в коррозионную среду также стимулирует катодную и замедляет анодную реакцию. При этом увеличение концентрации ингибитора также смещает стационарный потенциал в положительную сторону.

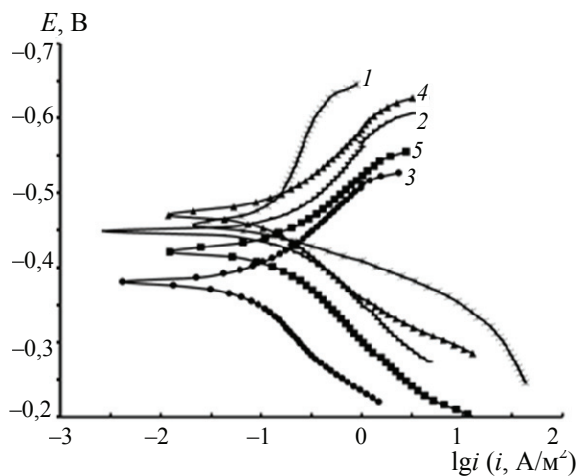


Рис. 2. Катодные и анодные поляризационные кривые стали Ст3, в пластовой воде М1 с различными концентрациями ингибитора при отсутствии углекислого газа и его наличии в растворе; в отсутствие муравьиной кислоты:

- 1 – М1 без CO_2 без ингибитора; 2 – М1 без CO_2 + 100 мг/л ингибитора;
- 3 – М1 без CO_2 + 200 мг/л ингибитора; 4 – М1 с CO_2 + 100 мг/л ингибитора,
- 5 – М1 с CO_2 + 200 мг/л ингибитора

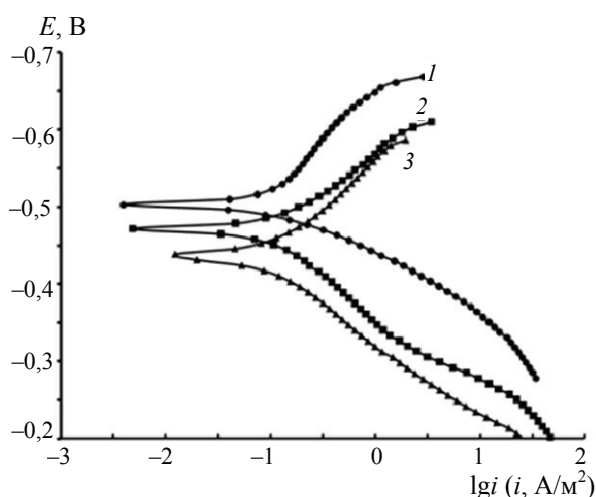


Рис. 3. Катодные и анодные поляризационные кривые стали Ст3, в пластовой воде М1 при наличии 50 мг/л муравьиной кислоты: при наличии одной атмосферы CO_2 : 1 – без ингибитора; 2 – при наличии 100 мг/л ингибитора АМДОР-ИК-2; 3 – при наличии 200 мг/л ингибитора АМДОР-ИК-2

Аналогичным образом исследовалось влияние содержания ингибитора при наличии в среде М1, насыщенной углекислым газом, муравьиной кислоты с концентрацией 50 мг/л и концентрациями ингибитора 0, 100 и 200 мг/л (рис. 3). При увеличении содержания муравьиной кислоты в пластовой воде М1 до 50 мг/л картина не меняется. Введение ингибитора в систему и увеличение его концентрации в 2 раза (200 мг/л) смещает потенциал коррозии в положительную сторону, еще больше замедляя анодный процесс и стимулируя катодную реакцию восстановления окислителя-деполяризатора. Это согласуется с данными гравиметрических измерений.

Выводы

1. Наличие одной атмосферы углекислого газа в среде М1 является фактором, ускоряющим коррозионное разрушение стали Ст3 приблизительно в 2 раза. При этом увеличение времени испытаний с 5 до 10 суток приводит к незначительному уменьшению скорости коррозионного разрушения стали.

2. При наличии одной атмосферы углекислого газа в исследуемой среде М1, при введении добавок муравьиной кислоты и увеличении концентрации кислоты до 50 мг/л скорость коррозии закономерно возрастает, увеличиваясь приблизительно в 1,7 – 2 раза.

3. Введение ингибитора АМДОР ИК-2 в среду М1 в отсутствие муравьиной кислоты и повышение его концентрации до 200 мг/л закономерно тормозит скорость коррозии в исследуемой среде до 32 %, введение одной избыточной атмосферы углекислого газа повышает защитный эффект до 52 %.

4. Совместное наличие в среде углекислого газа и муравьиной кислоты увеличивает защитную эффективность ингибитора АМДОР ИК-2, которая повышается при увеличении в среде концентрации муравьиной кислоты и достигает 84 %.

5. По данным электрохимических измерений введение углекислого газа и различных добавок муравьиной кислоты в пластовую воду М1 увеличивает скорость коррозии за счет ускорения протекания анодного процесса ионизации металла.

6. Введение ингибитора в коррозионную среду, содержащую углекислый газ в отсутствие добавок кислоты, стимулирует катодную реакцию и замедляет анод-

ную. При этом увеличение концентрации ингибитора также смещает стационарный потенциал в положительную сторону.

7. Введение в коррозионную среду М1, насыщенную CO₂, различных добавок муравьиной кислоты и ингибитора тормозит коррозионный процесс, смещая потенциал коррозии в положительную сторону, при этом значительно замедляя анодный процесс и стимулируя катодную реакцию. Таким образом, ингибитор АМДОР-ИК-2 проявляет защитную эффективность преимущественно как ингибитор анодного действия, увеличивая защитный эффект при увеличении содержания катионов водорода в исследуемой системе.

Список литературы

1. Маркин, А. Н. CO₂-коррозия нефтепромышленного оборудования / А. Н. Маркин, Р. Э. Низамов. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 188 с.
2. Ткачева, В. Э. Локальная CO₂-коррозия нефтепромышленного оборудования : монография = Localized CO₂ corrosion of oil field equipment / В. Э. Ткачева, А. В. Бриков, Д. А. Лунин, А. Н. Маркин. – Уфа : БашНИПИнефть, 2021. – 168 с.
3. Кантюков, Р. Р. Анализ применения и воздействия углекислотных сред на коррозионное состояние нефтегазовых объектов / Р. Р. Кантюков, Д. Н. Запевалов, Р. К. Вагапов // Записки горного института. – 2021. – Т. 250, № 2. – С. 578 – 586. doi: 10.31897/PMI.2021.4.11
4. Вигдорович, В. И. Защитная эффективность летучих ингибиторов ИФХАН-118 и ИФХАН-114 по отношению к атмосферной коррозии стали, латуни и меди в присутствии в воздухе повышенных концентраций CO₂, H₂S и NH₃ / В. И. Вигдорович, Л. Г. Князева, Л. Е. Цыганкова // Коррозия: материалы, защита. – 2019. – № 2. – С. 26 – 30. doi: 10.31044/1813-7016-2019-0-2-26-30
5. Кузнецов, Ю. И. Об ингибировании углекислотной коррозии стали карбоновыми кислотами / Ю. И. Кузнецов, К. А. Ибатуллин // Защита металлов. – 2002. – Т. 38, № 5. – С. 496 – 501.
6. George, K. S. Investigation of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Acetic Acid – Part 1. Basic Mechanisms / K. S. George, S. Nesic // Corrosion. – 2007. – Vol. 63, No. 2. – P. 178 – 186.
7. Влияние низших карбоновых кислот на коррозию углеродистой стали в модельной пластовой воде в присутствии диоксида углерода и ингибитора / Л. Е. Цыганкова, П. Н. Бернацкий, Н. Альшика [и др.] // Коррозия: материалы, защита. – 2020. – № 4. – С. 36 – 40. doi: 10.31044/1813-7016-2020-0-4-36-40
8. Moiseeva, L. S. Inhibition of Carbon Dioxide Corrosion of Gas And Oil Field Equipment / L. S. Moiseeva, Yu. I. Kuznetsov // Защита металлов. – 1996. – Т. 32, № 5. – С. 565 – 572.
9. Ингибитор коррозии нефтепромышленных сред на основе азотсодержащих соединений и отходов хлорорганического производства / Г. Р. Хайдарова, А. А. Исламутдинова, Ю. К. Дмитриев [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2015. – Т. 13, № 4. – С. 163 – 168.
10. Цыганкова, Л. Е. Защитные свойства ряда ингибиторов сероводородной и углекислотной коррозии / Л. Е. Цыганкова, О. А. Фоменков, М. Н. Есина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52, № 1. – С. 66 – 69.
11. Вигдорович, В. И. Ингибирование сероводородной и углекислотной коррозии металлов. Универсализм ингибиторов / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова. – М. : КАРТЭК, 2011. – 242 с.
12. Цыганкова, Л. Е. Введение в теорию коррозии металлов : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Химия» / Л. Е. Цыганкова, В. И. Вигдорович, А. П. Поздняков. – Тамбов : Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2002. – 311 с.

13. Моисеева, Л. С. Защита оборудования нефтяных и газоконденсатных скважин ингибиторами углекислотной коррозии марки КРЦ / Л. С. Моисеева, А. М. Садов // Практика противокоррозионной защиты. – 1998. – № 2 (8). – С. 33 – 40.

The Effect of Formic Acid and AMDOR IK-2 Inhibitor on Carbon Acid Corrosion of Carbon Steel in Model Produced Water of the Samotlor Oil Field

P. N. Bernatsky, D. V. Balybin, A. A. Meshcheryakova

*Department of Chemistry, Derzhavin Tambov State University,
pasha-bern@yandex.ru, Tambov, Russia*

Keywords: anodic reaction; inhibitor; cathodic reaction; corrosion; formic acid; steel; carbon dioxide.

Abstract: Using gravimetric tests and the method of potentiodynamic polarization, the corrosion behavior of steel in model formation water of the Samotlor oil field (environment M1) was studied when saturated with carbon dioxide, as well as in the presence of formic acid additives. The effect of the AMDOR IK-2 inhibitor on the corrosion rate of steel under these conditions was studied. It has been shown that the introduction of various concentrations of the HCOOH additive (from 5 to 50 mg/l) in the presence of one excess atmosphere of carbon dioxide increases the corrosion rate of steel in the M1 environment.

References

1. Markin A.N., Nizamov R.E. *CO₂-korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya* [CO₂-corrosion of oilfield equipment], Moscow: VNIIOENG, 2003, 188 p. (In Russ.).
2. Tkacheva V.E., Brikov A.V., Lunin D.A., Markin A.N. *Lokal'naya CO₂-korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya : monografiya* [Localized CO₂ corrosion of oil field equipment: monograph], Ufa : BashNIPIneft', 2021, 168 p. (In Russ.).
3. Kanyukov R.R., Zapevalov D.N., Vagapov R.K. [Analysis of the application and impact of carbon dioxide media on the corrosion state of oil and gas facilities], *Zapiski gornogo institute* [Notes of the Mining Institute], 2021, vol. 250, no. 2, pp. 578-586. doi: 10.31897/PMI.2021.4.11 (In Russ., abstract in Eng.).
4. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.Ye. [Protective effectiveness of volatile inhibitors IFKhAN-118 and IFKhAN-114 in relation to atmospheric corrosion of steel, brass and copper in the presence of high concentrations of CO₂, H₂S and NH₃ in the air], *Korroziya: materialy, zashchita* [Corrosion: materials, protection], 2019, no. 2, pp. 26-30. doi: 10.31044/1813-7016-2019-0-2-26-30 (In Russ., abstract in Eng.).
5. Kuznetsov Yu.I., Ibatullin K.A. [On the inhibition of carbon dioxide corrosion of steel by carboxylic acids], *Zashchita metallov* [Protection of metals], 2002, vol. 38, no. 5, pp. 496-501. (In Russ., abstract in Eng.).
6. George K.S., Nestic S. Investigation of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Acetic Acid – Part 1. Basic Mechanisms, *Corrosion*, 2007, vol. 63, no. 2, pp. 178-186.
7. Tsygankova L.Ye., Bernatskiy P.N., Al'shika N., Kuz'menko K.K., Zarapina I.V. [Effect of lower carboxylic acids on carbon steel corrosion in model formation water in the presence of carbon dioxide and inhibitor], *Korroziya: materialy, zashchita* [Corrosion: materials, protection], 2020, no. 4, pp. 36-40. doi: 10.31044/1813-7016-2020-0-4-36-40 (In Russ., abstract in Eng.).
8. Moiseeva L.S., Kuznetsov Yu.I. Inhibition of Carbon Dioxide Corrosion of Gas And Oil Field Equipment, *Zashchita metallov* [Protection of metals], 1996, vol. 32, no. 5, pp. 565-572.

9. Khaydarova G.R., Islamutdinova A.A., Dmitriyev Yu.K., Sidorov G.M., Ivanov A.N. [Corrosion inhibitor of oilfield media based on nitrogen-containing compounds and wastes of organochlorine production], *Neftegazovoye delo* [Oil and gas business], 2015, vol. 13, no. 4, pp. 163-168. (In Russ., abstract in Eng.).

10. Tsygankova L.Ye., Fomenkov O.A., Yesina M.N. [Protective properties of a number of inhibitors of hydrogen sulfide and carbon dioxide corrosion], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology], 2009, vol. 52, no. 1, pp. 66-69. (In Russ., abstract in Eng.).

11. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.Ye. *Ingibirovaniye serovodorodnoy i uglekislotnoy korrozii metallov. Universalizm ingibitorov* [Inhibition of hydrogen sulfide and carbon dioxide corrosion of metals. Universalism of inhibitors], Moscow: KARTEK, 2011, 242 p. (In Russ.).

12. Tsygankova L.Ye., Vigdorovich V.I., Pozdnyakov A.P. *Vvedeniye v teoriyu korrozii metallov* [Introduction to the theory of corrosion of metals], Tambov: Izdatel'stvo TGU im. G.R. Derzhavina, 2002, 311 p. (In Russ.).

13. Moiseyeva L.S., Sadov A.M. [Protection of equipment for oil and gas condensate wells with carbon dioxide corrosion inhibitors of the KRC brand], *Praktika protivokorroziionnoy zashchity* [Practice of anti-corrosion protection], 1998, no. 2(8), pp. 33-40. (In Russ., abstract in Eng.).

Wirkung der Ameisensäure und Inhibitor Amdor IK-2 auf Kohlenstoff-Säure-Korrosion von Kohlenstoffstahl im Modellschichtwasser des Samotlor-Ölfeldes

Zusammenfassung: Mithilfe gravimetrischer Tests und der Methode der potentiell dynamischen Polarisation ist das Korrosionsverhalten von Stahl im Modellformationswasser des Ölfeldes Samotlor (Umgebung M1) bei Sättigung mit Kohlendioxid sowie in Gegenwart von Ameisensäurezusätzen untersucht. Die Wirkung des AMDOR-Inhibitors IK-2 auf die Korrosionsrate von Stahl unter diesen Bedingungen ist untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Einführung verschiedener Konzentrationen des HCOOH-Zusatzstoffs (von 5 bis 50 mg/l) in Gegenwart einer überschüssigen Kohlendioxidatmosphäre die Korrosionsrate von Stahl im Medium M1 erhöht.

Influence de l'acide formique et de l'inhibiteur amdor ir-2 sur la corrosion par le dioxyde de carbone de l'acier au carbone dans l'eau de formation modèle du gisement de pétrole de samotlor

Résumé: A l'aide des essais gravimétriques et la méthode de polarisation potentio-cyodynamique est étudié le comportement corrosif de l'acier dans l'eau de formation modèle du champ pétrolier de Samotlor (milieu M1) saturée de dioxyde de carbone et en présence des additifs d'acide formique. Est étudiée l'influence de L'inhibiteur amdor IR-2 sur le taux de corrosion de l'acier dans ces conditions. Est démontré que l'introduction de différentes concentrations des additifs HCOOH (de 5 à 50 mg/l) en présence d'une atmosphère de dioxyde de carbone en excès augmente le taux de corrosion de l'acier dans le milieu M1.

Авторы: *Бернацкий Павел Николаевич* – доктор химических наук, доцент кафедры химии; *Балыбин Дмитрий Викторович* – кандидат химических наук, доцент кафедры химии; *Мещерякова Елена Александровна* – студент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Россия.