

ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ ИНГИБИТОРЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ АМИНОВ И ХРОМСОДЕРЖАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Курбанова Л.М., Эшмаматова Н.Б., Акбаров Х.И.,
Холикова З.З.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улуғбека
E- mail: Eshmatova79@mail.ru

Two-Component Inhibitors Based on Organic Amines and Chrome-Containing Compounds

ABSTRACT

Проведение целевых исследований по повышению качества металлов и эффективному их использованию является важным в мире, при этом особое внимание уделяется проблеме применению водорастворимых, органических ингибиторов для борьбы с солеотложением, определению оптимальных условий при ингибировании коррозии металлов, применению водорастворимых органических и олигомерных ингибиторов на основе азот и хромсодержащих соединений, эффективно защищающих черные и цветные металлы от коррозии в различных средах, изучению механизмов коррозии и установлению ее физико-химических закономерностей. В работе использованы гравиметрия, ИК спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, а также коррозиметр СЕ 105. Результаты исследования заключаются в том, что механизм защиты органических ингибиторов зависит от их строения и физико-химических особенностей.

ARTICLE INFO

Received: 6th November 2022

Revised: 6th December 2022

Accepted: 8th January 2023

KEYWORDS:

Коррозия, ингибитор, диэтиламин, гексаметилендиамин, диметилгексаметилендиамин, меламина, диметилмеламин, хромат калия, дихромат калия, сталь, ингибирование.

Annotation. Conducting targeted research to improve the quality of metals and their effective use is important in the world, with special attention paid to the following tasks: the use of water-soluble, organic inhibitors to combat scale formation. Determination of optimal conditions for the inhibition of corrosion of metals, the use of water-soluble organic and oligomer inhibitors based on nitrogen and chromium-containing compounds that effectively protect ferrous and non-ferrous metals from corrosion in various environments, the study of corrosion mechanisms, and the establishment of its physicochemical laws. In work gravimetry, IR spectroscopy, X-ray structural analysis as well CE 105 corrosiometer.

Key words. Corrosion inhibitors, diethylamine, hexamethylenediamine, dimethylolhexamethylenediamine, melamine, dimethylolmelamine, potassium chromate, potassium dichromate, steel, inhibition.

Введение. Рабочие свойства ингибиторов коррозии проявляются вследствие изменения состояния поверхности металла и его абсорбции или образования с катионами металла труднорастворимых соединений. Защитные слои, создаваемые ингибиторами коррозии, всегда тоньше, чем поверхности металла. Действовать надо двумя путями: уменьшить площадь активной поверхности или изменять энергию активации коррозионного процесса [1].

По механизму своего действия любой ингибитор не должен взаимодействовать с окружающей средой. Реакция должна происходить только с поверхностью металла, на которой была произведена обработка. Сама защитная реакция достаточно сложна, часто ее не удается продемонстрировать в рамках одной универсальной теории. На сегодняшний день работа ингибиторов металла объясняется адсорбционной и пленочной теориями.

Полезное действие ингибитора во многом зависит от среды, в которой применяется препарат. Данный фактор является определяющим и пока не позволяет создать полностью универсальных защитных составов. На сегодняшний день наиболее часто применяются следующие защитные вещества: нитрит натрия, которой добавляется к холодильным соляным растворам, силикаты и фосфаты натрия, бихромат натрия, а также различные органические амины, сульфокислоты бензола, крахмал, танин и др. С течением времени ингибиторы расходуются, необходимо осуществлять их периодическое добавление в агрессивную среду. Однако, концентрация защитного вещества в неблагоприятных средах остается небольшой. Стоит учитывать и среду, в которой происходит обработка металла, - щелочная или кислотная. Еще одной интересной особенностью является применение смесей ингибиторов с одинаковым или схожими физико-химическими свойствами. В результате такого взаимодействия у препаратов друг к другу может проявляться как эффект антагонизма, так и синергизм. При достижении синергизма увеличивается эффективность действия ингибирующей смеси, что приведет к улучшению защитного эффекта в сравнении с отдельным применением ингибиторов. Такого эффекта можно достигнуть при меньшей суммарной концентрации ингибиторов в смеси по сравнению с концентрацией препаратов отдельно [2].

Для предотвращения локальной коррозии наиболее эффективны анионные ингибиторы. В целях повышения защиты металлов от разрушения используют смеси ингибиторов с различными добавками. При этом может наблюдаться аддитивное действие другого компонента и синергизм, когда содержащиеся в смеси вещества усиливают действие друг друга. Неорганические ингибиторы коррозии позволяют замедлить коррозию металлов в агрессивных средах. Такие свойства получаются благодаря присутствию катионов Ca^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , As^{3+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} или CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, NO_2^- , SiO_3^{2-} , PO_4^{3-} . Научно обосновано, что гидроксильные ионы кислот, которые образуются в ходе диссоциации и гидролизе аминов, а также их солей, определяют тип замедления коррозии – анодный или катодный механизм. Защитный эффект подобных соединений возможен благодаря присутствию в их структуре циклических катионов, содержащих азот [3].

Ингибиторы-пассиваторы вызывают формирование на поверхности металла защитной пленки и способствуют переходу металла в пассивное состояние. Наиболее широко пассиваторы применяются для борьбы с коррозией в нейтральных или близких к ним средах, где коррозия протекает преимущественно с кислородной деполяризацией. Механизм действия таких ингибиторов различен и в значительной степени определяется их химическим составом и строением [4].

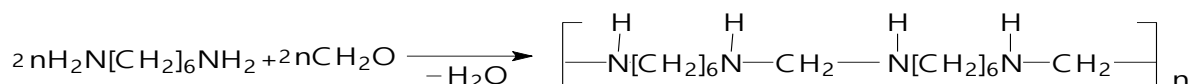
Коррозионное разрушение нефтепромыслового оборудования определяется физико-химическими свойствами водного и углеводородного компонентов системы, их составом, количественным соотношением, наличием растворенных газов (сероводорода, углекислого газа, кислорода и т.д.). При больших скоростях движения потока, обеспечивающих интенсивное перемешивание фаз, образуются эмульсионные системы типа масло в воде или вода в масле. При их отстаивании происходит разделение на две несмешивающиеся фазы. Во всех случаях коррозионной средой является вода [5].

Методы и материалы. Объектами исследования явились хромсодержащие двухкомпонентные системы на основе диэтиламина, меламина и гексаметилендиамина, использованные при различных температурах. Исследования коррозионного поведения стали Ст.3 проводили на образцах в форме пластин. Действие солевой среды и ингибиторов на коррозионное поведение образцов Ст.3

определяли методами гравиметрии по убыли массы образца после коррозионных испытаний, а также использованием коррозиметра СЕ 105. Исследования проведены в водопроводной воде pH=6,98-7,0 при различных температурах.

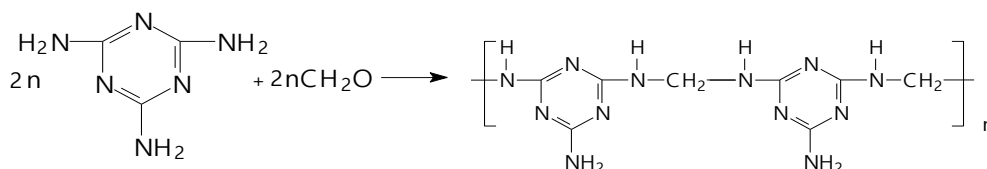
Диэтиламин $C_4H_{11}N$ (ИК-1): вещество темно коричневого цвета. Растворяется в воде. Молекулярная масса 73,14°C; $T_{пл.}=-50^{\circ}C$; $T_{кип.}=55,5$. Гексаметилендиамин (ИК-2): перекристаллизован из бензола. Растворяется в воде, этиловом спирте, эфире и бензоле. $T_{пл.}=40-43^{\circ}C$, $T_k=205^{\circ}C$. $-NH_2-(CH_2)_6-NH_2$.

Диметилолгексаметилендиамин(ИК-3): Получение гексаметилендиамин фор-мальдегидного олигомера:



Меламин (ИК-4): $N=C(NH_2)-N=C(NH_2)-N=C(NH_2)$ молекулярная масса 126,12; $T_{пл.}=250^{\circ}C$; $d_4^{20} = 0,7627$; $n_D^{20} = 1,4205$.

Диметилолмеламин (ИК-5): в разбавленных растворах в нейтральной, слабокислой и слабощелочной средах при обычных температурах имеет линейную структуру со степенью полимеризации от 6 до 11, т.е. является олигомером с молекулярной массой около 1650-3000.



Хромат калия K_2CrO_4 -соль желтого цвета, молекулярная масса 194 г/моль. Дихромат калия $K_2Cr_2O_7$ -соль оранжевого цвета, молекулярная масса 294 г/моль.

Результаты и обсуждение. Для качественной характеристики реакций был использован метод ИК-спектроскопии. Был снят ИК-спектр гексаметилендиамина, в котором при 3340 см^{-1} проявляются аминные группы, поглощение в интервале $2928-2855\text{ см}^{-1}$ обусловлено $-CH_2-$ группами, при 1578 см^{-1} расположены аминные группы полосы при $1480-1394\text{ см}^{-1}$ ассиметричная (C-N) группа и полосы в области $824-727\text{ см}^{-1}$ обусловлены наличием СН группы. Важным фактором, влияющим на эффективность ингибиторов, является пространственная конфигурация их молекул, определяющая площадь ингибированной поверхности металлов. Защита металлов от коррозии ингибиторами, как было показано, часто связана с химической адсорбцией, включающей изменение заряда адсорбирующегося вещества и перенос заряда с одной фазы на другую. Поэтому особое значение приобретает молекулярная структура ингибиторов. Следует отметить, что электронная структура олигомерных соединений несомненно играет определенную роль в явлениях адсорбции и ингибирования коррозии [6].

В ИК спектре меламин содержит полосы при $3469-3418\text{ см}^{-1}$ и $3330-3126\text{ см}^{-1}$, относящиеся к аминным группам, 2817 см^{-1} $-CH-$ группы, в интервале 2190 см^{-1} расположена (CN), симметричные колебания (C=C) проявляются при 1023 см^{-1} , полосы в области $616-584\text{ см}^{-1}$ отнесенных (NNN) группе. Адсорбция поверхностно – активных органических веществ возрастает с увеличением их молекулярной массы и дипольного момента. Полученные ингибиторы на основе азотсодержащих соединений эффективно защищают оборудование от коррозии.

Эффективность этих ингибиторов коррозии обусловлена наличием двух адсорбционно-активных центров и адсорбцией продуктов их разложения. Азотсодержащие ингибиторы коррозии давно и успешно применяются в нефтедобыче и транспортировке. Наибольшее распространение получили: первичные, вторичные, третичные алифатические, замещенные соединения пиридина, хинолина, имидазолина и четвертичные аммониевые соединения, в том числе, имеющие в своей структуре различные кислородсодержащие группы [7].

В ИК спектре олигомерных соединений диметилормеламина имеются новые полосы, относящиеся к аминным группам в при 3324 см^{-1} , при $2956\text{--}2836\text{ см}^{-1}$ проявляются $-\text{CH}_2$ группы, полосы в области 1488 см^{-1} обусловлены ароматическими связями ($\text{C}=\text{C}$), при 1553 см^{-1} проявляются аминные группы; при $873\text{--}812$ и 744 см^{-1} проявляются (CH) группы, а полосы в области 611 см^{-1} обусловлены группой (NNN). Карбонильная группа – плоская, атомы С и О находятся в sp^2 гибридном состоянии и сильно отличаются по электроотрицательности и как следствие этого π –связь очень поляризована. Формальдегид оказался самым доступным, дешевым и активным карбонильным соединением в реакциях нуклеофильного присоединения, что и обусловило его широкое применение для получения поликонденсационных смол и олигомерных материалов. В реакциях нуклеофильного присоединения меламина к формальдегиду также образуются их метилольные производные. Продукты поликонденсации меламина с формальдегидом не растворяются в органических растворителях, но растворяются в воде [6].

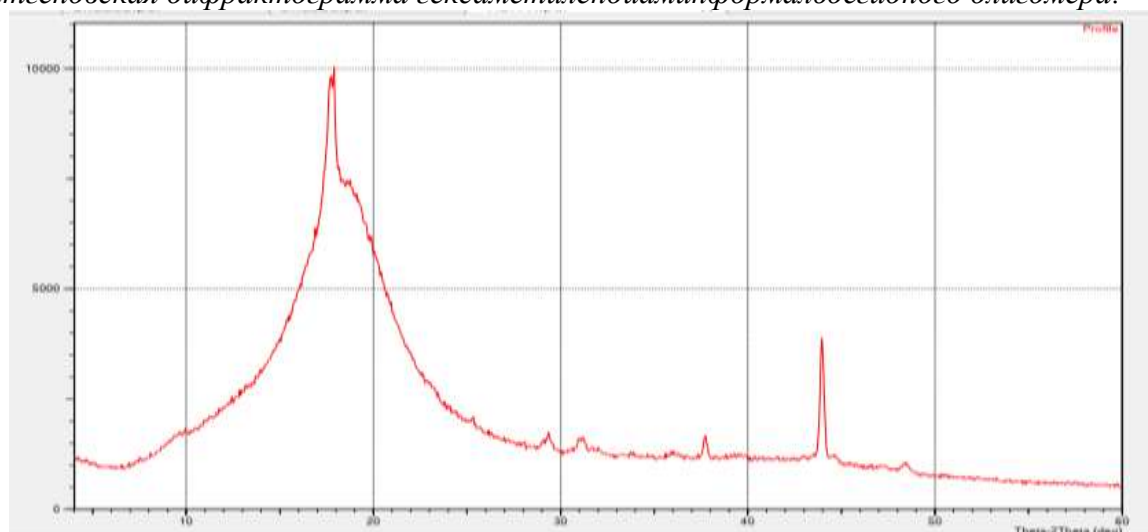
Аминогруппа (NH_2 -) носитель реакционных центров мономеров и исходного сырья в промышленном производстве карбамидных, меламиноформальдегидных олигомеров, линейных полиамидов и линейно–циклических полиамидов. В реакциях поликонденсации важнейшую роль играют неспаренные электроны атома азота и аминогруппы. Первой стадией реакции гетерополиамидирования является образование связи с участием неподелённой пары электронов азота.

Метод рентгеновского структурного анализа так как длина волны рентгеновского излучения и расстояния между атомами или их группами в кристаллической решетке вещества одного и того же порядка, решетка кристалла является дифракционной решеткой для рентгеновских лучей. Приведены изменения показателей параметров и дифрактограмма гексаметилендиамин формальдегидного олигомера в элементарных ячейках.

Таблица 1. Изменения показателей параметров гексаметилендиамин формальдегидного олигомера в элементарных ячейках

К	β (rad)	2θ (deg)	θ (rad)	d, nm	$\bar{d}$, nm
0,9	0,085041	18,3667	0,16028	163,0443	174,6106
0,9	0,083982	15,4237	0,13459	165,0358	
0,9	0,070832	23,0051	0,200757	195,7517	

Рис. Рентгеновская дифрактограмма гексаметилендиаминформальдегидного олигомера:



Интерпретация полученных результатов рентгенографического исследования под малыми углами различная. Обнаруживаемые при съемке под большими углами должны быть частью большого периода, обнаруживаемого при съемке под малыми углами. Изучать процессы коррозии можно и при наложении внешнего тока. Эффективность ингибирующего действия большинства органических соединений определяется их адсорбционной способностью при контакте с поверхностью металла. Как

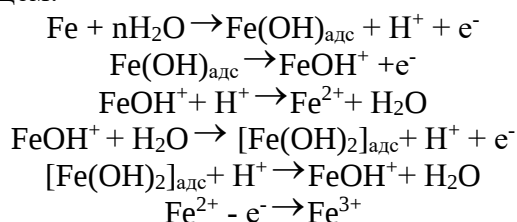
правила эта способность достаточно велика из-за наличия в молекулах атомов или функциональных групп, обеспечивающих активное адсорбционное взаимодействие ингибитора с металлом. Анодный ингибитор, введенный в электролит, в случае, когда коррозия контролируется исключительно анодной реакцией, не изменяет потенциал металла. Существенное уменьшение плотности тока как при анодной, так и при катодной поляризации относительно кривой, полученной в растворе без ингибитора, указывает на эффективное ингибирование реакции коррозии железа [8].

Значения параметров γ и Z (табл. 3) показывают, что наиболее эффективное ингибирование коррозии наблюдается при концентрации 20 мг/л при температуре 25°C. Такой эффект можно объяснить образованием на стали тонкой защитной пленки на основе азотсодержащих соединений, которые блокируют ее поверхность и тормозят скорость коррозионного разрушения. Обычно считается, что основной стадией действия ингибиторов в кислотном растворе является адсорбция на поверхности металла. Это предполагает предположение о том, что коррозионные реакции не должны происходить на участке (или активных участках) поверхности металла, покрытой адсорбированными компонентами ингибитора, в то время как эти реакции коррозии протекали обычно на участке без ингибитора [9].

Ведение химической ингибиторной защиты является одним из наиболее эффективных, технологически доступных и при этом экономически целесообразных методов борьбы с внутренней коррозией промышленных трубопроводов. Необходимо понимать, что достижение реальной полезной результативности от проведения работ по ингибированию, а следовательно, и повышение надежности трубопроводов возможны только в случае максимально качественной реализации всех системных процессов, осуществляемых в рамках программы по химической ингибиторной защите, причем как внутри комплекса работ по разработке, производству и внедрению эффективных реагентов ингибиторов коррозии, так и при дальнейшем их внедрении и промышленном применении [10-11].

Установлено, что среди рассмотренных соединений имеются эффективные ингибиторы коррозии в водных средах, причем наиболее лучшими являются двухкомпонентные системы. В работах показано, что при разработке ингибиторов коррозии значительное внимание уделяется поиску и применению сырья, содержащего переходные металлы или комплексы на их основе, а также соединений, способных при введении в агрессивную среду образовывать подобные комплексы при взаимодействии с переходными металлами, которые присутствуют в электролите или на поверхности защищаемого металла.

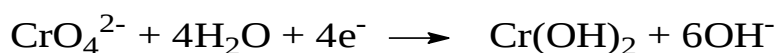
Это обусловлено тем, что такие соединения и комплексы обладают повышенной способностью к взаимодействию с металлической поверхностью и активными частицами коррозионных сред, вследствие чего при правильном подборе рецептуры ингибитора может быть обеспечена его высокая адсорбционная активность и склонность к снижению или блокированию тех функций частиц среды, которые вызывают коррозию металла. Основываясь на литературных данных и проведенных экспериментах можно утверждать, что предполагаемые реакции, вызывающие коррозию металла и его защиту, заключаются в следующем:



В этой схеме лимитирующие стадии 2 и 5, а промежуточным каталитическим комплексом является FeOH^+ . Эта схема наиболее правдоподобна, т.к. в первой стадии участвуют молекулы H_2O , а не OH^- , что более вероятно для водных сред. По такому механизму действуют, например, ингибиторы диметилормеламин и диметилормгексаметилендиамин, высокая эффективность которых связана с внутримолекулярным синергизмом. Двухкомпонентные системы действуют как смешанные ингибиторы на поверхности металла [13].

Отметим, что само по себе повышение скорости коррозии с ростом температуры не может служить доказательством того, что в ходе эксперимента увеличивалась доля активной поверхности

металла.



Такой эффект можно объяснить образованием на стали тонкой защитной пленки, которая блокирует ее поверхность и тормозит скорость коррозионного разрушения[12].

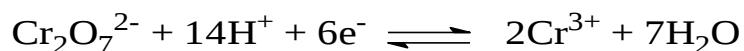
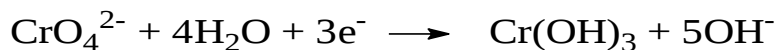
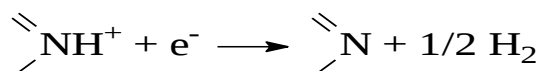
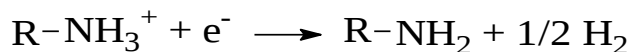


Таблица 2. Результаты электрохимического определения степени защитного действия двухкомпонентных ингибиторов в фоновом растворе (pH=6,98), полученные с использованием коррозиметра СЕ 105, 25°C.

CE 105, 25 °C.					
Ингибитор	С мг/л.	<i>i</i>	lgi, (A/sm ²)	γ	Z (%)
pH=6,98	0	2,4	0,38	-	-
		2,1	0,32		
		1,9	0,28		
		1,7	0,23		
		1,6	0,20		
(ИК-1) +K ₂ CrO ₄	20	0,48	-0,32	5,00	80
		0,42	-0,37	5,1	80,4
		0,37	-0,43	5,13	80,7
		0,32	-0,49	5,31	81,1
		0,30	-0,52	5,33	81,3
(ИК-2) ГМДА+K ₂ CrO ₄		0,43	-0,36	5,60	82,2
		0,37	-0,43	5,67	82,4
		0,32	-0,49	5,93	83,1
		0,29	-0,53	5,86	83,5
		0,27	-0,57	5,92	84,7
(ИК-3) диметилол K ₂ Cr ₂ O ₇		0,36	-0,44	6,67	85,0
		0,31	-0,51	6,77	85,2
		0,28	-0,55	6,78	85,4
		0,24	-0,62	7,08	85,8
		0,22	-0,66	7,27	86,25
(ИК-4) меламин+ K ₂ CrO ₄		0,29	-0,54	8,27	88,0
		0,25	-0,60	8,40	88,1
		0,22	-0,65	8,63	88,4
		0,18	-0,74	9,44	89,4
		0,17	-0,77	9,41	89,6
(ИК-5) диметилолмеламин+ K ₂ CrO ₄		0,21	-0,67	11,43	91,2
		0,18	-0,74	11,67	91,4
		0,13	-0,88	14,6	93,1
		0,12	-0,92	14,16	93,4
		0,11	-0,96	14,54	93,5

Достаточно высокая скорость коррозии может наблюдаться в некоторых случаях и из пассивного состояния. Между тем, информация о состоянии поверхности стали в ходе коррозионных испытаний очень важна, т.к. пассиваторы эффективны только в случае низких скоростей коррозии из пассивного состояния. Однозначно судить о состоянии поверхности образцов можно по величине электродного потенциала.



Таким образом, имеется выраженная тенденция к переходу стали в пассивное состояние, но для теории и практики эксплуатации оборудования из Ст.3 в фоновых растворах водных средах необходимо выяснить насколько такое состояние устойчиво.

Таблица 3. Результаты гравиметрического определения степени защиты различными ингибиторами ($C_{\text{инг.}}=20 \text{ мг/л}$) в фоновом растворе при 25°C

Ингибиторы	360 часов			720 часов		
	К, г/(м ² сут)	γ	Z, %	К, г/(м ² сут)	γ	Z, %
pH=6,98	11,78	-	-	9,38	-	-
(ИК-1); Диэтиламин	3,39	28,77	71,23	2,51	26,55	73,35
(ИК-2); ГМДА	3,25	27,59	72,41	2,27	24,16	75,84
(ИК-3); Диметил ГМДА	2,29	19,48	80,52	1,45	15,44	84,56
(ИК-4); Меламин	3,28	27,85	72,15	2,43	25,86	74,14
(ИК-5); Диметилмеламин	1,79	15,24	84,76	1,19	12,64	87,36
pH=6,98	21,78	-	-	29,18	-	-
(ИК-1)+ K ₂ CrO ₄	4,27	19,65	80,35	5,12	17,56	82,44
(ИК-2) + K ₂ CrO ₄	3,59	16,49	83,51	3,45	11,81	88,19
(ИК-3) + K ₂ Cr ₂ O ₇	2,87	13,22	86,78	1,68	5,76	94,24
(ИК-4) + K ₂ CrO ₄	3,86	17,72	82,28	3,85	13,19	86,81
(ИК-5)+ K ₂ Cr ₂ O ₇	1,64	7,53	92,47	1,25	4,28	95,72

В работе впервые показано, что введение в электролиты органических соединений на основе азота и хрома приводит к снижению скорости разряда протонов и ионизации металла не только в активационной области, но и в области предельных токов. Снижение же предельных токов однозначно указывает на появление дополнительных диффузионных ограничений, связанных с образованием фазовых поверхностных слоев, что в свою очередь приводит к выводу о необходимости пересмотра корректности и применимости существующих адсорбционных теорий ингибиторной защиты металлов от коррозии. По степени снижения предельных токов разряда протонов и катодного восстановления кислорода можно судить как о степени защиты металлов от коррозионного разрушения, так и ее механизме защиты [14].

Проведены исследования по определению действия ингибиторов и поиску их наиболее эффективных смесей. Результаты получены для смеси ингибиторов, относящихся к одной серии, и при их постоянной суммарной концентрации. Чтобы оптимизировать состав ингибиторных смесей необходимо установить все причины отклонения их действия от правила «аддитивности». Для этого требуются дополнительные исследования и в первую очередь по совместной адсорбции компонентов смесей на поверхности металла. В связи с этим заслуживают внимания эффекты взаимного усиления ингибирующего действия и адсорбции анионов.

Заключение. На основе данных гравиметрических и ИК спектроскопических методов предложен вероятный механизм защитного действия двухкомпонентных ингибиторов, который заключается в образовании малорастворимых соединений с ионами железа и последующей их адсорбции. Показано, что двухкомпонентные органические ингибиторы на основе хромосодержащих соединений с повышением их концентрации значительно увеличивают свои защитные свойства, что указывает на хемосорбционный характер процесса. Эффективность ингибиторов не снижается со временем, а напротив для двухкомпонентных систем наблюдается ее рост.

Список Литературы

1. Задорожный П.А., Суховерхов С.В., Семенова Т.Л., Маркин А.Н. Применение высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс селективным детектированием для анализа имидазлинсодержащего ингибитора коррозии // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. Вып. 5. 2010. –С.82-83.
2. Семихина Л.П., Москвина Е.Н., Кольчевская И.В. Явление синергизма в смесях поверхностных веществ // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. Тюмень. Вып. 5. 2012. –С.90-91.
3. Григорьева И.О., Дресвянникова А.Ф. Особенности анодной реакции поляризации и коррозионного поведения алюминия в солевых нитритных растворах // Вестник Казанского технологического университета. Казань: Вып. 22. Т.16. 2013. –С.293-294.
4. Хайдарова Г.Р. Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромышленного оборудования // Современные проблемы науки и образования: электрон. науч. журн. 2014. №6. URL: <http://www.scienceeducation.ru/pdf/2014/6/1460.pdf>.
5. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В.Семеновой. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. -336 с.
6. Эшмаматова Н.Б. Синтез и физико-химическое исследование олигомерных ингибиторов коррозии // Привольжский научный вестник. -Ижевск, 2013. Том 1, –С. 8-12.
7. Khaled K.F. Theoretical study of the structural effects of polymethylene amines on corrosion inhibition of iron in acid solutions // Electrochimica Acta. – 2005. – №. 50. – P. 2515-2520.
8. Фахретдинов П.С., Борисов Д.Н., Романов Г.В., Ходырев Ю.П., Галиакберов Р.М. Ингибиторы коррозии из ряда аммониевых соединений на основе α -олефинов // Казанский научный центр РАН. Нефтегазовое дело, 2008. –С. 1-18.
9. Нарзуллаев А.Х., Джалилов А.Т., Бекназаров Х.С. Изучение эффективности ингибитора коррозии ИКЦФ-1 в 1М HCl // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2019. №2.(56). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/6881>.
10. Афанасьев А.В. Повышение эффективности ингибиторной защиты промышленных трубопроводов методами актуализации системных процессов. Опыт применения ингибиторов коррозии//Инженерная практика: произв.–техн. нефтегаз. журн. 2012. №5.–С.34-42 URL: http://glavteh.ru/files/IP-5_Afanasiev.pdf.
11. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Шайбаков Р.А.// Промышленная безопасность на взрывопожарных и химически опасных производственных объектах: Материалы науч.-практ. конф. 23-24 апр. 2014. Уфа: УГНТУ, 2014. С.28-31.
12. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. М.: Издательство “Химия”. 1977. -352 с.

13. ¹Akbarov Kh.I., ¹Eshmamatova N.B., ²Fayzullaev N.I., ¹Kalyadin V.G., ¹Azimov L.A. // Synthesis and Physico-Chemical Properties of Oligomeric Inhibitors of Corrosion on the Base of Nitrogen, Phosphorous-Containing Compounds / International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No.5, (2020), pp. 6489 – 6506.
14. Yusufboy R., Eshmamatova N., Akbarov Kh. Defense mechanisms and gravimetric estimation of the effectiveness of inhibitors on the base amino compounds. Universum: химия и биология. Выпуск: 12 (78). Декабрь 2020. Часть 2. –Р. 20-25.