



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.108.2-1

**Противокоррозионная защита стали Дротаверином
в 0,5 М растворе H_2SO_4**

В.А. Брыксина^{1✉}, Л.Е. Цыганкова¹, О.В. Алехина¹, Н.А. Курьято²

¹Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,
РФ, 392008, г. Тамбов, Комсомольская площадь, д. 5

²Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов
в сельском хозяйстве,
РФ, 392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28

e-mail: victoria_98.bryksina@mail.ru

Аннотация. Известно, что наиболее эффективными ингибиторами коррозии являются органические соединения. Основными минусами их применения служит высокая стоимость, а также тот факт, что по своей природе они могут быть токсичными. Вследствие этого возникла потребность в поиске новых безопасных, дешевых и эффективных ингибиторов коррозии. В данный список можно включить лекарственные препараты, которые могут выступать потенциальными ингибиторами вследствие присутствия в их структуре атомов азота, серы и т.п. В работе изучена возможность применения просроченного лекарственного препарата Дротаверина в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 0,5 М H_2SO_4 . Концентрация препарата составляла 20...80 мг/л. Методами гравиметрии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), потенциодинамической поляризации, электрохимической диффузии и импедансной спектроскопии была установлена наиболее эффективная концентрация Дротаверина – 80 мг/л, которой соответствовал защитный эффект 95%. Все исследования проводились при комнатной температуре. Уменьшение емкости двойного электрического слоя в присутствии ингибитора свидетельствует об адсорбции компонентов лекарства на металлической поверхности. Результаты поляризационных измерений показали, что Дротаверин является ингибитором смешанного типа. Анализ состояния металлической поверхности посредством сканирующего электронного микроскопа после воздействия на неё ингибированного раствора позволяет судить о высокой защитной эффективности Дротаверина в наивысшей исследуемой концентрации.

Ключевые слова: просроченные лекарственные препараты, углеродистая сталь, коррозия, Дротаверин, защитная эффективность.

Для цитирования: Брыксина В.А., Цыганкова Л.Е., Алехина О.В., Курьято Н.А. Противокоррозионная защита стали Дротаверином в 0,5 М растворе H_2SO_4 // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 7-16.
doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.108.2-1

Статья получена 18.03.2023, опубликована 01.06.2023.

Anticorrosive protection of steel with Drotaverine in 0,5 M H_2SO_4 solution

V.A. Bryksina^{1✉}, L.E. Tsygankova¹, O.V. Alekhina¹, N.A. Kur'yato²

¹Derzhavin State University,
5, Komsomolskaya square, Tambov, 392008, Russian Federation

²All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,
28, Novo-Rubezhny lane, Tambov, 392022, Russian Federation

e-mail: victoria_98.bryksina@mail.ru

Abstract. It is known that organic compounds are the most effective corrosion inhibitors. The main disadvantages of their use are the high cost, as well as the fact that by their nature they can be toxic. As a result there was a need to find new safe, cheap and effective corrosion inhibitors. This list can include drugs that can act as potential inhibitors due to the presence of nitrogen, sulfur, etc. atoms in their structure. The paper examines the possibility of using the expired drug Drotaverine as a corrosion inhibitor of carbon steel in 0.5 M H_2SO_4 . The concentration of the drug was 20...80 mg/l – Gravimetry, scanning electron microscopy (SEM), potentiodynamic polarization, electrochemical diffusion and impedance spectroscopy were used to determine the most effective concentration of Drotaverine – 80 mg/l, which corresponded to a protective effect of 95%. All studies were conducted at room temperature. A decrease in the capacity of the double electric layer in the presence of

an inhibitor indicates the adsorption of the drug components on the metal surface. The results of polarization measurements showed that Drotaverine is a mixed-type inhibitor. Analysis of the state of the metal surface by means of a scanning electron microscope after exposure to an inhibited solution allows us to judge the high protective effectiveness of Drotaverine in the highest concentration under study.

Keywords: expired drugs, carbon steel, corrosion, Drotaverine, protective efficiency.

For citation: Bryksina, V. A., Tsygankova, L. E., Alekhina, O. V., & Kur'yato, N. A. (2023). Anticorrosive protection of steel with Drotaverine in 0,5 M H₂SO₄ solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28 (2), 7-16. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.108.2-1

Received March 18, 2023. Published June 01, 2023.

Введение

Коррозия – неизбежный процесс, разрушающий металлы и сплавы посредством химической и электрохимической реакций с окружающей средой. Металлы и сплавы, применяемые во многих сферах деятельности человека, подвержены различным видам коррозии.

Низкоуглеродистая сталь, широко используемая в качестве конструкционного материала, распространена в химической и нефтехимической промышленности благодаря некоторым выдающимся свойствам, к которым можно отнести механическую прочность и низкую стоимость. Но она проявляет низкую коррозионную стойкость в агрессивных средах, что приводит к высоким экономическим потерям и ограничению её применения [1]. Ежегодно потери от коррозии наносят огромный ущерб экономике и окружающей среде. В ходе исследования, при поддержке NACE International, было установлено, что в 2013 году в США убытки от коррозии составили 2,5 триллионов долларов, что эквивалентно 3,4% мирового валового внутреннего продукта [2]. Из этого следует, что изучение коррозии стали является важной областью исследований, особенно в кислых средах, из-за широкого промышленного применения. Однако потери от коррозии можно уменьшить, используя специальные вещества – ингибиторы коррозии. Ингибиторы должны оцениваться с точки зрения безопасности и воздействия на окружающую среду, поскольку природоохранное законодательство во многих странах ввело строгое регулирование по отношению к токсичности и биоразлагаемости применяемых веществ [3].

Многие органические, неорганические и полимерные соединения успешно применяются в практике противокоррозионной защиты, но всё же не все соответствуют установленным стандартам безопасности.

Описанная проблема приводит к разработке новых ингибиторов, которые наносят минимальный или нулевой ущерб окружающей среде, и они получили название – экологически чистые или "зеленые" ингибиторы коррозии [4].

К "зеленым" ингибиторам относят соединения, имеющие в составе растительные компоненты, которые, в свою очередь, оказывают минимальное негативное воздействие на окружающую среду и обладают антикоррозионными свойствами. В [5] исследована антикоррозионная защита стали в 1 M растворе HCl, содержащем добавки экстракта *Mangifera indica* (200...1000 мг/л). Присутствие многих активных компонентов с ароматическими и кислородсодержащими функциональными группами в экстракте *Mangifera indica* было показано с использованием инфракрасной спектроскопии. Результаты других анализов подтвердили, что с увеличением концентрации экстракта эффективность ингибирования значительно возрастала и достигла максимального значения 92% при концентрации 1000 мг/л после 8 часов экспозиции. Экстракт *Mangifera indica* ведет себя как ингибитор смешанного типа, замедляя как анодные, так и катодные реакции. Авторы отмечают, что адсорбция молекул ингибитора обеспечивает гидрофобизацию поверхности.

Аналогичное исследование было проведено в работе [6], в которой был изучен экстракт *Rollinia occidentalis* в качестве ингибитора коррозии металлов в 1 M растворе HCl. Скорость коррозии стальных образцов после добавления экстракта заметно снижается по мере того, как концентрация увеличивается до 0,4 г/л и уже выше этой концентрации изменения становятся менее заметными. При повышении температуры скорость коррозии, как в присутствии, так и в отсутствие ингибитора возрастает. Торможение процесса ингибирования увеличива-

ется с повышением температуры, что можно объяснить ускорением процессов растворения металла и десорбции молекул ингибитора [7, 8]. Экстракт *Rollinia occidentalis* действует как ингибитор смешанного типа. Подавление коррозии, в основном, достигается за счет физической адсорбции различных соединений экстракта на стальной поверхности. Кроме того, в работе также было успешно протестировано действие двух чистых компонентов, присутствующих в экстракте, а именно: ацетогенинов роллиниастатин-1 и мотилина. Коррозионные испытания в 1 М растворе HCl с концентрацией 0,007 г/л двух выделенных ацетогенинов позволили определить эффективность ингибирования 71,6% для роллиниастатина-1 и 68,9% для мотилина [6].

Тематика исследований, направленная на поиск и изучение «зеленых» аналогов ингибирующих соединений, становится все более актуальной и перспективной. Известно, что наиболее эффективными ингибиторами коррозии являются органические соединения, молекулы которых содержат ненасыщенные связи, гетероатомы. Многие лекарства с истекшим сроком годности имеют сходную структуру и могут быть использованы в качестве ингибиторов коррозии металлов. Это позволяет использовать их вместо утилизации. Уже более 10 лет такие препараты изучаются в качестве ингибиторов коррозии металлов [10-12].

В [10] гравиметрическим методом была изучена ингибирующая эффективность пяти антибиотиков против коррозии стали в 0,1, 0,01 и 0,001 Н растворах HNO_3 , HCl и H_2SO_4 . Авторы отмечают, что защитная эффективность различных антибиотиков колеблется в широких пределах, от 17 до 93%, в зависимости от типа кислоты и ее концентрации. К сожалению, в них не была указана концентрация используемых антибиотиков. Патхак в своей статье [11] описывает более 10 медицинских препаратов, которые применяются в качестве ингибиторов коррозии различных металлов (сталь, алюминий, цинк) в средах серной и соляной кислот. Во всех исследуемых препаратах присутствуют гетероатомы или ароматические кольца. Экспериментальные результаты были получены методами гравиметрии,

потенциодинамической поляризации, электрохимической импедансной спектроскопии, линейного поляризационного сопротивления. Концентрация различных препаратов варьировалась в пределах 50...900 промилле. Защитный эффект составлял от 75 до 97%. Во всех случаях рассматривается блокировочный механизм действия ингибиторов, хотя кажущаяся энергия активации процесса коррозии значительно изменяется в их присутствии.

Целью данной работы является изучение возможности применения просроченного препарата Дротаверин в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 0,5 М растворе H_2SO_4 .

Методика эксперимента

Электрохимические измерения и коррозионные испытания проводились на углеродистой стали Ст3 состава, мас. %: C 0,2; Mn 0,5; Si 0,15; P 0,04; S 0,05; Cr 0,30; Ni 0,20; Cu 0,20; Fe 98,36 в 0,5 М H_2SO_4 .

Серная кислота использовалась категории «химически чистая». Продолжительность гравиметрических экспериментов составляла 24 ч. Образцы из углеродистой стали Ст3 были отполированы до 6 класса чистоты и обезжирены ацетоном перед экспериментами.

В качестве ингибитора использовался просроченный препарат Дротаверин – 1-(3,4-диэтоксibenзильден) – 6,7 – диэтокси – 1,2,3,4 – тетрагидроизохинолин (в виде гидрохлорида) ($M=397,507$ г/моль). Структурная формула препарата приведена на рис. 1. Концентрация ингибитора варьировалась в диапазоне 20...80 мг/л.

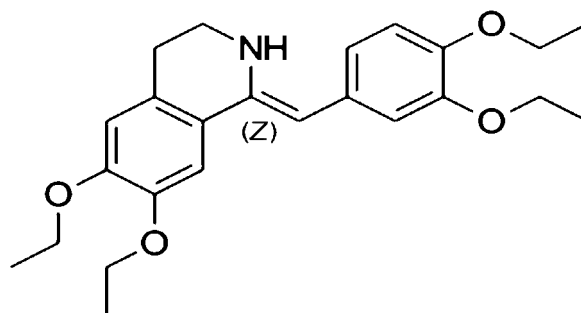


Рис. 1. Структурная формула Дротаверина

Fig. 1. Structural formula of Drotaverine

Электрохимические измерения выполнялись в трехэлектродной пластиковой ячейке после 15 мин выдержки рабочего электрода в растворе. Потенциалы измеряли относительно насыщенного хлорид-серебряного электрода и пересчитывали по стандартной водородной шкале. Противоелектрод – гладкая платина.

Потенциодинамические поляризационные измерения проводились с использованием потенциостата IPC-Pro (производства Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН) при скорости сканирования потенциала 0,66 мВ/с.

Спектры импеданса изучались в диапазоне частот ($\omega/2\pi$) 10 кГц...0,05 Гц с амплитудой переменного напряжения 10 мВ с использованием электрохимического измерительного комплекса фирмы Solartron (Великобритания), состоящего из анализатора импеданса SI 1255 и потенциостата SI 1287. Полученные результаты были обработаны по программе ZView 3.0, которая позволяет проводить вычисления для любых эквивалентных схем, содержащих до 20 элементов.

Для обработки экспериментальных данных электрохимического импеданса использована эквивалентная электрическая схема, приведенная на *рис. 2*.

В ней R_s – сопротивление раствора, R_1 и R_2 – сопротивление переноса заряда анодной и катодной парциальных электродных реакций соответственно, C_{dl} – емкость двойного электрического слоя, C_a и R_a – емкость и сопротивление переноса заряда промежуточных адсорбированных частиц, образую-

щихся при анодной ионизации, стали, $Z(d)$ – диффузионный импеданс Варбурга.

Защитный эффект ингибитора рассчитывался по данным гравиметрических испытаний (1) и поляризационных измерений (2):

$$Z = \frac{K_0 - K_{inh}}{K_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$Z = \frac{i_0 - i_{inh}}{i_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где K_0 (i_0) и K_{inh} (i_{inh}) – скорости коррозии в отсутствие и в присутствии ингибитора в растворах соответственно. Плотности тока коррозии рассчитывались путем экстраполяции Тафелевских участков поляризационных кривых на потенциал коррозии.

Все исследования проводились при комнатной температуре.

Исследования скорости массопереноса водорода проводились при комнатной температуре по методике, разработанной Н.В. Кардаш и В.В. Батраковым [13]. Использовалась впервые предложенная Деванатханом двухкамерная ячейка, разделенная стальной мембраной толщиной 0,3 мм, площадью 3,63 см². В поляризационную часть ячейки вводился рабочий раствор, в диффузионную – точно фиксированный объем титрованного 0,01 *N* раствора перманганата калия (40 мл). Продолжительность опытов составляла 2 часа при потенциале коррозии. Для характеристики влияния ингибитора на поток диффузии водорода в металл использован коэффициент ингибирования проникновения водорода γ :

$$\gamma = i_H^0 / i_H, \quad (3)$$

где i_H^0 и i_H – токи диффузии водорода в отсутствие и в присутствии ингибитора в растворе. $\gamma > 1$ соответствует замедлению диффузии, $\gamma < 1$ соответствует ускорению, $\gamma = 1$ – отсутствие влияния ингибитора.

Результаты и обсуждение

На *рис. 3* представлены поляризационные кривые, полученные в 0,5 *M* растворе H_2SO_4 , а в *табл. 1* приведены рассчитанные на их основе кинетические параметры и защитная эффективность ингибитора.

Коррозионный потенциал остается прак-

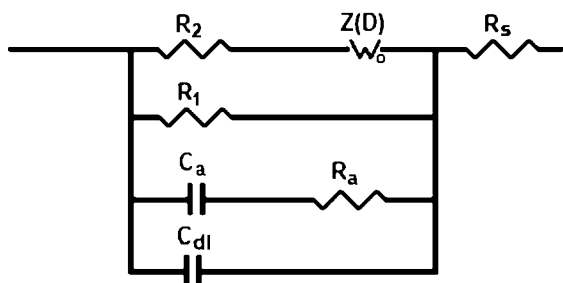


Рис. 2. Эквивалентная схема, имитирующая поведение стального электрода в кислых растворах

Fig. 2. Equivalent circuit simulating the behavior of a steel electrode in acidic solutions

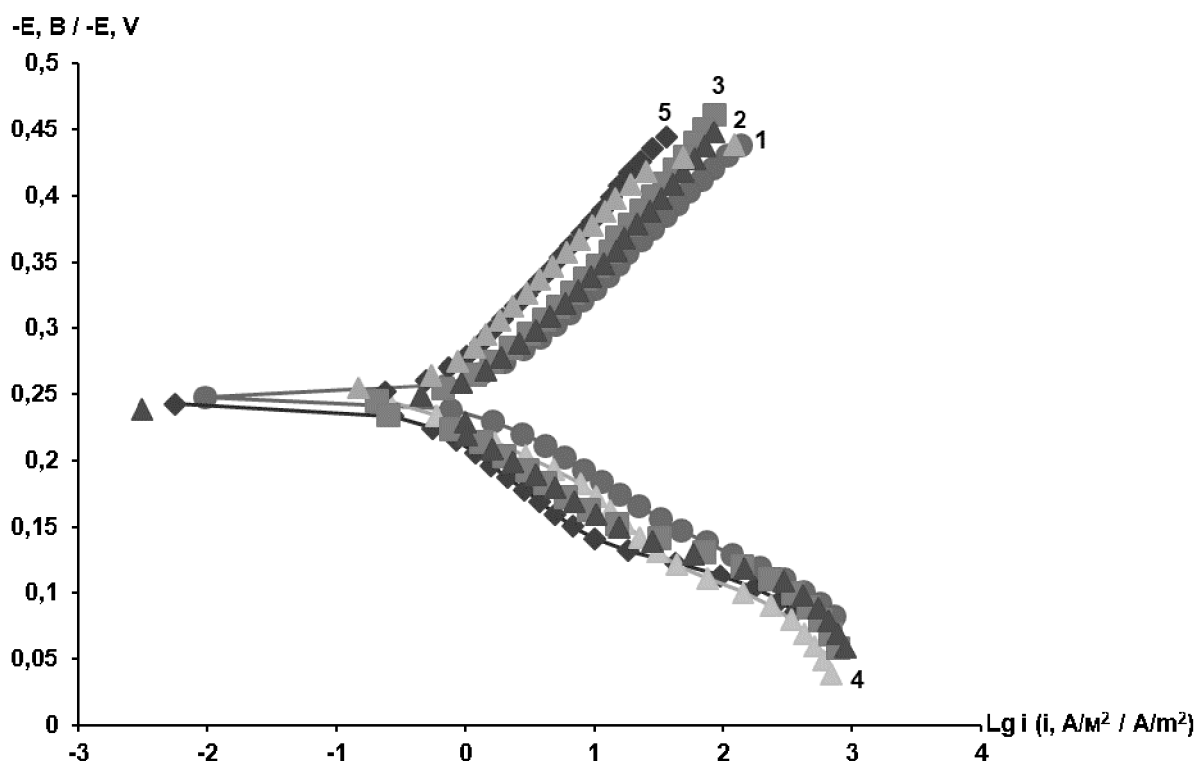


Рис. 3. Поляризационные кривые в 0,5 М растворе H_2SO_4 в отсутствие (1) и в присутствии Дротаверина, мг/л: 2 – 20, 3 – 40, 4 – 60, 5 – 80

Fig. 3. Polarization curves in 0.5 M H_2SO_4 solution in the absence of (1) and in the presence of Drotaverine, mg/l: 2 – 20, 3 – 40, 4 – 60, 5 – 80

тически неизменным во всех растворах, что обычно, наблюдается при близкой степени торможения обеих парциальных электродных реакций ингибитором. Это характерно для данного случая. Хотя можно отметить незначительное преобладание торможения анодной реакции, о чем свидетельствует незначительное смещение $E_{кор}$ в положительном направлении при концентрации ингибитора 80 мг/л (рис. 3). С увеличением концентрации ингибитора уменьшаются токи коррозии, что приводит к увеличению защитного эффекта. Тафелевские коэффициенты наклона анодных поляризационных кривых близки между собой во всех растворах, лишь при содержании ингибитора 80 мг/л b_a незначительно увеличивается (табл. 1). Тафелевские коэффициенты наклона катодных поляризационных кривых с введением ингибитора и увеличением его концентрации несколько увеличиваются.

Результаты гравиметрических коррозионных испытаний стальных образцов в ис-

следуемом растворе и величина защитного действия ингибитора приведены в табл. 2.

Защитное действие ингибитора увеличивается с ростом его концентрации. Сравнение значений Z , рассчитанных по данным гравиметрических и поляризационных измерений, показывает совпадение установившихся закономерностей. Возможно, более низкие величины защитного эффекта, полученные на основе поляризационных кривых, продолжительность измерения которых составляла 15 мин, обусловлены медленной адсорбцией компонентов ингибитора на поверхности стали.

СЭМ-изображения поверхности образца до и после коррозионных испытаний в исследуемом растворе показаны на рис. 4.

Состояние поверхности металла после воздействия ингибированного раствора указывает на хорошую защитную эффективность ингибитора.

Защитная эффективность используемого ингибитора – Дротаверина – также под-

Таблица 1. Кинетические параметры электрохимической коррозии углеродистой стали в растворе 0,5 М H_2SO_4 в отсутствие и в присутствии ингибитора

Table 1. Kinetic parameters of electrochemical corrosion of carbon steel in a solution of 0.5 M H_2SO_4 in the absence and in the presence of an inhibitor

Состав / Structure	$-E_{кор}, В$ / $-E_{cor}, V$	$i_{кор}, A/m^2$ / $i_{cor}, A/m^2$	$b_a, В$ / b_a, V	$b_k, В$ / b_c, V	$Z, \%$
Фон / Background	0,25	1,36	0,063	0,081	-
Фон + 20 мг/л / Background + 20 mg/l	0,23	0,61	0,053	0,083	55
Фон + 40 мг/л / Background + 40 mg/l	0,23	0,50	0,050	0,090	63
Фон + 60 мг/л / Background + 60 mg/l	0,24	0,40	0,055	0,093	71
Фон + 80 мг/л / Background + 80 mg/l	0,24	0,32	0,054	0,094	77

Таблица 2. Результаты гравиметрических испытаний в 0,5 М растворе H_2SO_4 , по данным 24-часовой экспозиции

Table 2. Results of gravimetric tests in 0.5 M H_2SO_4 solution, according to 24-hour exposure data

$C_{инг}, мг/л$ / $C_{inh}, mg/l$	$K_{cp}, г/(м^2 \cdot ч)$ / $K_{avg}, g/(m^2 \cdot h)$	$Z_{cp}, \%$ / $Z_{avg}, \%$
Фон / Background	9,53	-
Фон + 20 мг/л / Background + 20 mg/l	1,21	87
Фон + 40 мг/л / Background + 40 mg/l	1,07	89
Фон + 60 мг/л / Background + 60 mg/l	0,47	94
Фон + 80 мг/л / Background + 80 mg/l	0,46	95

тверждается результатами измерения импеданса. На рис. 5 представлены годографы, полученные в 0,5 М растворе серной кислоты.

Из рис. 5 видно, что с ростом концентрации Дротаверина, диаметр полуокружностей на диаграмме Найквиста увеличивается. Это говорит о повышении общего сопротивления в системе, которое влечет за собой соответственное снижение скорости коррозии. Табличные данные показывают, что сопротивление переноса заряда как в анодной

реакции R_1 , так и в катодной реакции R_2 увеличивается с ростом концентрации. Установившаяся концентрационная зависимость сопровождается уменьшением величины емкости двойного электрического слоя C_{dl} , что указывает на адсорбцию Дротаверина на поверхности стального электрода. Полученные результаты свидетельствуют об эффективной защите просроченного лекарственного препарата против коррозии стали в растворе H_2SO_4 .

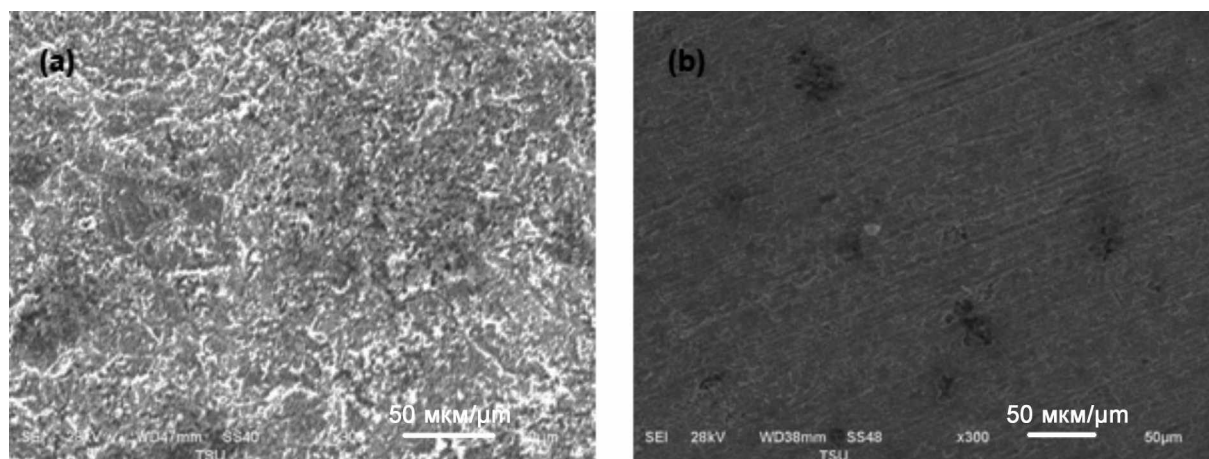


Рис. 4. СЭМ-изображения поверхности углеродистой стали после 24-часовой экспозиции в 1 M растворе H_2SO_4 в отсутствие (а) и присутствии (б) 80 мг/л Дротаверина
Fig. 4. SEM images of carbon steel surface after 24-hour immersion in 1 M H_2SO_4 solution in the absence (a) and presence (b) of 80 mg/l Drotaverine

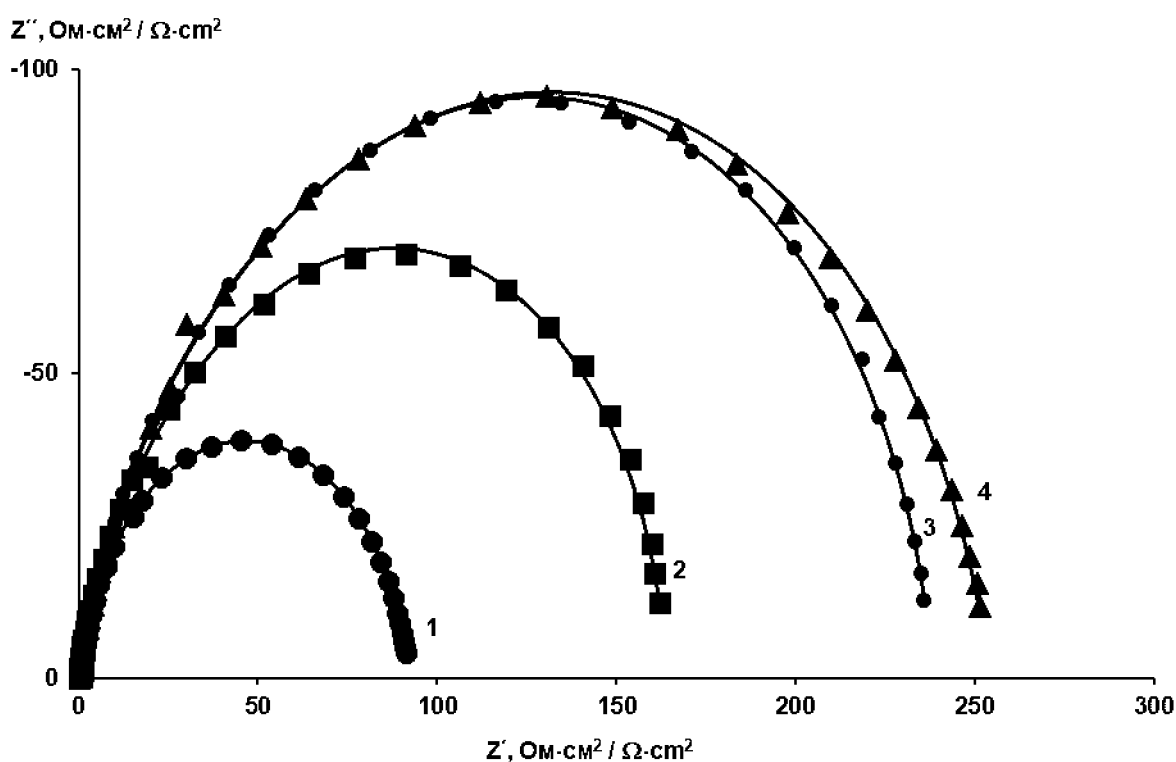


Рис. 5. Диаграмма Найквиста для стального электрода в 0,5 M растворе H_2SO_4 в отсутствие (1) и в присутствии Дротаверина, мг/л: 2 – 20, 3 – 60, 4 – 80
Fig. 5. Nyquist diagram for a steel electrode in 0.5 M H_2SO_4 solution in the absence of (1) and in the presence of Drotaverine, mg/l: 2 – 20, 3 – 60, 4 – 80

Таблица 3. Численные значения элементов эквивалентной схемы при $E_{кор}$ стального электрода в 1 N растворе H_2SO_4

Table 3. Numerical values of the elements of the equivalent circuit at the E_{cor} of the steel electrode in 1 N H_2SO_4 solution

Элемент / Element	Фон / Background	Концентрация Дротаверина, мг/л / Drotaverine concentration, mg/l		
		20	60	80
R_s , Ом·см ² / $\Omega \cdot \text{cm}^2$	1,0	0,2	0,8	0,9
C_{dl} , $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ / $\mu\text{F}/\text{cm}^2$	78,7	45,9	35,7	28,4
R_1 , Ом·см ² / $\Omega \cdot \text{cm}^2$	348,0	726,5	900,4	926,3
R_2 , Ом·см ² / $\Omega \cdot \text{cm}^2$	47,6	65,9	95,7	81,0
C_a , $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ / $\mu\text{F}/\text{cm}^2$	11,30	11,4	11,4	9,10
$Z(d)-R$, Ом·см ² / $\Omega \cdot \text{cm}^2$	75,6	146,0	141,8	172,7
$Z(d)-p$	0,4	0,5	0,4	0,4
$Z(d)-t$, с / s	0,02	0,03	0,04	0,04
R_a , Ом·см ² / $\Omega \cdot \text{cm}^2$	36,1	61,1	98,1	79,0
Sum of sqr., %	3,4	4,16	2,17	2,6

Таблица 4. Влияние Дротаверина на ток диффузии водорода через стальную мембрану в 0,5 M растворе H_2SO_4 и коэффициент его ингибирования γ

Table 4. Effect of Drotaverine on the hydrogen diffusion current through a steel membrane in 0.5 M H_2SO_4 solution and its inhibition coefficient γ

$C_{инг}$, мг/л / C_{inh} , mg/l	0	20	40	60	80
i_H , A/m ² , A/m ²	0,7610	0,8974	0,6556	0,6189	0,5466
γ	-	0,85	1,16	1,23	1,39

Известно, что агрессивность кислотных сред заключается не только в потерях массы металла, но и в проникновении водорода вглубь металла, вызывающем впоследствии его охрупчивание. Поэтому важным свойством ингибитора считается его спо-

собность снижать диффузию водорода в металл. Дротаверин, начиная с концентрации 40 мг/л, снижает ток диффузии водорода через стальную мембрану в исследуемом растворе серной кислоты. Дальнейший рост концентрации ингибирующей добавки

сопровождается увеличением коэффициента ингибирования диффузии водорода (табл. 4).

Выводы

Изучена защитная эффективность просроченного препарата Дротаверин (20...80 мг/л) против коррозии углеродистой стали в 0,5 М растворе H_2SO_4 методами гравиметрии, потенциодинамической поляризации, электрохимической диффузии, импедансной спектроскопии, СЭМ.

Согласно коррозионным испытаниям, величина защитного эффекта Дротаверина достигает 95% в наибольшей концентрации из исследуемых. Поляризационные измерения показали, что Дротаверин является ингибитором смешанного типа.

Результаты электрохимических импедансных измерений свидетельствуют об адсорбции ингибитора на поверхности стали. Диаметр полуокружностей на диаграмме Найквиста увеличивается с увеличением концентрации ингибитора, что говорит об увеличении общего сопротивления в системе и, соответственно, снижении скорости коррозии. Дротаверин, начиная с концентрации 40 мг/л, снижает диффузию водорода через стальную мембрану в исследуемом растворе серной кислоты.

Результаты получены с использованием оснащения Центра коллективного пользования научным оборудованием ТГУ имени Г.Р. Державина. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта по соглашению № 075-15-2021-709 (уникальный идентификатор проекта RF---2296.61321X0037)».

Литература

1. Behpour M., Ghoreishi S.M., Khayat Kashani M., Soltani N. The effect of two oleo-gum resin exudate from *Ferula assafoetida* and *Dorema ammoniacum* on mild steel corrosion in acidic media // *Corrosion Science*. – 2011. – V. 53. – P. 2489-2501.
2. Koch G. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study // *NACE International*. – 2016. – March. – 216 p.
3. Sastri V. Green corrosion inhibitors, theory and practice. – Wiley: Hoboken, 2011. – P. 328.
4. Raja P. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media – a review / Raja P.B., Sethuraman M.G. // *Mater Lett*. – 2008. – V. 62. – P. 113-116.
5. Mohammad R., Ghasem B., Zahra S., Bahram R. Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl solution by ethanolic extract of eco-friendly *Mangifera indica* (mango) leaves: Electrochemical, molecular dynamics, Monte Carlo and ab initio study // *Applied Surface Science*. – 2019. – V. 463. – P. 1058-1077.
6. Patricia E.A., Victoria Fiori-Bimbi M., Neske A., Brandán S., Claudio A. Gervasio Rollinia occidentalis extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2018. – V. 58. – P. 92-99.
7. Sethuraman M. G., Aishwarya V., Sethuraman C. Anti-corrosion Potential of *Kopsia fruticosa* Leaf Extract and Its Alkaloidal Constituents on Mild Steel in 1 M HCl // *Chem*. – 2012. – V. 10. – P. 522-530.
8. Yadav D.K., Quraishi M. Application of Some Condensed Uracils as Corrosion Inhibitors for Mild Steel: Gravimetric, Electrochemical, Surface Morphological, UV-Visible, and Theoretical Investigations // *Ind. Eng. Chem. Res*. – 2012. – V. 51. – P. 14966-14979.
9. Patent US 2014119984, IPC C23F11/00, C23F11/04. Withanolide corrosion inhibitor for carbon steel. – Appl. No.2013/060058; Publication date: 08.05.2014.
10. Suraj B. Antibiotic drug's used as metal corrosion inhibitor in various acid medium / B. Suraj, N. Shitole, S. Lonkar J. // *Chem. Pharm. Res*. – 2014. – V. 6. – P. 1865-1872.
11. Pathak R. Drugs as Corrosion Inhibitors: A Review / R. Pathak, Pratiksha Mishra // *Intern. J. Sci. Res*. – 2016. – V. 5. – P. 671-677.
12. Цыганкова Л.Е., Брыксина В.А., АLEXина О.А., Шель Н.В. Защитная эффективность омепразола против сероводородной коррозии углеродистой стали // *Практика противокоррозионной защиты*. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 36-44. doi:10.31615/j.corros.prot.2022.106.4-4
13. Кардаш Н.В., Батраков В.В. Методика определения водорода, диффундирующего

через мембрану // Защита металлов. – 1995.
– Т. 31, № 4. – С. 441-444.

References

1. Behpour, M. Ghoreishi, S. M., Khayatkashani, M., & Soltani N. (2011). The effect of two oleo-gum resin exudate from *Ferulaassa-foetida* and *Dorema ammoniacum* on mild steel corrosion in acidic media. *Corrosion Science*, 53, 2489-2501.
2. Koch, G. (2016). International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study. *NACE International*.
3. Sastri, V. (2011). *Green corrosion inhibitors, theory and practice*. Wiley: Hoboken.
4. Raja, P. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media – a review / Raja P.B., Sethuraman M.G. *Mater Lett.*, 62, 113-116.
5. Mohammad, R. Ghasem, B., Zahra, S., Bahram, R. (2019). Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl solution by ethanolic extract of eco-friendly *Mangifera indica* (mango) leaves: Electrochemical, molecular dynamics, Monte Carlo and ab initio study. *Applied Surface Science*, 463, 1058-1077.
6. Patricia, E. A. Patricia, M., Victoria Fiori-Bimbi, A. Neske, S. Brandán, & Claudio A. (2018). *Gervasia Rollinia occidentalis* extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 58, 92-99.
7. Sethuraman, M. G., Aishwarya, V., & Sethuraman, C. (2012). Anti-corrosion Potential of *Kopsiafruticosa* Leaf Extract and Its Alkaloidal Constituents on Mild Steel in 1 M HCl. *Chem*, 10, 522-530.
8. Yadav, D. K., Quraishi, M. (2012). Application of Some Condensed Uracils as Corrosion Inhibitors for Mild Steel: Gravimetric, Electrochemical, Surface Morphological, UV–Visible, and Theoretical Investigations. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51, 14966-14979.
9. Patent US 2014119984, IPC C23F11/00, C23F11/04. Withanolide corrosion inhibitor for carbon steel. Appl. No.2013/060058; Publication date: 08.05.2014.
10. Suraj, B. Shitole, S. & Lonkar, J. (2014). Antibiotic drug's used as metal corrosion inhibitor in various acid medium. *Chem. Pharm. Res.*, 6, 1865-1872.
11. Pathak, R., Pratiksha, Mishra. (2016). Drugs as Corrosion Inhibitors. A Review. *Intern. J. Sci. Res.*, 5, 671-677.
12. Tsygankova, L. E., Bryksina, V. A., Alekhina, O. V. & Shel, N. V. (2022). Protective efficacy of omeprazole against hydrogen sulfide corrosion of carbon steel. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 27(4), 36-44. doi:10.31615/j.corros.prot.2022.106.4-4
13. Kardash, N. V., Batrakov, V. V. (1995). Metodika opredeleniya vodoroda, diffundiruyushhego cherez membranu. *Zashhita metallov*, 31(4), 441-444.

Информация об авторах

Брыксина Виктория Александровна, аспирант, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Цыганкова Людмила Евгеньевна, д.х.н., профессор, заведующая кафедрой химии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Алехина Ольга Владимировна, к.х.н., доцент кафедры химии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Курьято Николай Алексеевич, м.н.с., Всероссийский научно-исследовательский институт использования сельскохозяйственной техники и нефтепродуктов, г. Тамбов, Российская Федерация

Information about authors

Viktoriya A. Bryksina, postgraduate student, Derzhavin State University, Tambov, Russian Federation

Liudmila E. Tsygankova, Doctor of Chemistry, Professor, Head of Department of Chemistry, Derzhavin State University, Tambov, Russian Federation

Olga V. Alekhina, PhD in Chemistry, associate professor, Derzhavin State University, Tambov, Russian Federation

Nikolay A. Kur'yato, junior research, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation