



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

Тип статьи: научная, оригинальная

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

Article type: original

<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-2>

**Использование просроченного препарата Anaprilin
против коррозии углеродистой стали**

В.А. Брыксина¹, Л.Е. Цыганкова¹, 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. Экологически чистые ингибиторы коррозии, известные также как «зеленые» ингибиторы, используются уже на протяжении последнего десятилетия в экспериментах в области ингибирования коррозии. Активно проводятся научные исследования по использованию просроченных лекарственных препаратов в качестве «зеленых» ингибиторов коррозии металлов и сплавов. В данной работе изучено ингибирующее действие фармацевтического препарата Anaprilin с истекшим сроком годности против коррозии углеродистой стали Ст3 в 1*H* растворе серной кислоты. Концентрация препарата варьировала в пределах 20...80 мг/л. Исследования проведены методами гравиметрии, потенциодинамической поляризации, импедансной спектроскопии, электрохимической диффузионной методики. Гравиметрические коррозионные испытания, проведенные при комнатной температуре и 80 °С, показали защитную эффективность препарата, достигающую при наибольшей исследуемой концентрации 90%. Присутствие Anaprilin в растворе вызывает замедление анодной парциальной электродной реакции и снижение емкости двойного электрического слоя. Определена изотерма адсорбции Anaprilin и рассчитано изменение свободной энергии адсорбции. Anaprilin снижает ток диффузии водорода через стальную мембрану.

Ключевые слова: просроченные лекарственные препараты, углеродистая сталь, коррозия, серная кислота, Anaprilin, защитная эффективность

Для цитирования: Брыксина В.А., Цыганкова Л.Е., Курьято Н.А. Использование просроченного препарата Anaprilin против коррозии углеродистой стали // Практика противокоррозионной защиты. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 21-31. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-2>

Статья получена 10.07.2024. Принята к публикации 16.08.2024. Опубликовано 01.09.2024.

The Use of Expired Drug Anaprilin Against Corrosion of Carbon Steel

Viktoriya A. Bryksina¹, Liudmila E. Tsygankova¹, Nikolay 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. Environmentally friendly corrosion inhibitors, also known as «green» inhibitors, have been used for the past decade. In the experiments in the field of corrosion inhibition. Scientific research is actively conducted on the use of expired medicines as «green» corrosion inhibitors of metals and alloys. In this work, the inhibitory effect of the expired pharmaceutical drug Anaprilin against corrosion of carbon steel St3 in 1*H* sulfuric acid solution was studied. The concentration of the drug varied within 20...80 mg/l. The research was carried out using gravimetry, potentiodynamic polarization, impedance spectroscopy, and electrochemical diffusion techniques. Gravimetric corrosion tests conducted at room temperature and 80 °C showed the protective effectiveness of the drug, reaching 90% at the highest concentration under study. The presence of Anaprilin in the solution causes a slowdown in the anodic partial electrode reaction and a decrease in the capacity of the electrical double layer. The adsorption isotherm of Anaprilin



was determined and the change in free energy of adsorption was calculated. Anaprilin reduces the diffusion current of hydrogen through a steel membrane.

Keywords: expired drug, Anaprilin, carbon steel, corrosion, sulfuric acid, inhibition, acid solution, adsorption, protection efficiency

For citation: Bryksina, V. A., Tsygankova, L. E., & Kur'yato, N. A. (2024). The Use of Expired Drug Anaprilin Against Corrosion of Carbon Steel. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 29(3), 21-31. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-2>

Received July 10, 2024. Accepted for publication August 16, 2024. Published September 01, 2024.

Введение

С 1977 года в источниках массовой информации начали появляться первые сообщения о присутствии фармацевтических препаратов в сточных и подземных водах. Стремительно нарастающий темп роста населения, соответственно, привел к увеличению количества фармацевтических препаратов.

Лекарственные препараты могут попадать в окружающую среду из различных источников, например, при утилизации неиспользованных лекарств, стоков с очистных сооружений, остатков и отходов медицинских учреждений, а также отходов фармацевтической промышленности [1].

К сожалению, до сих пор остро стоит вопрос относительно безопасной утилизации фармацевтических препаратов. По данным ВОЗ, лекарственные препараты представляют угрозу для здоровья населения и окружающей среды из-за неправильной их утилизации. Так, загрязнение питьевой воды происходит из-за некачественного эксплуатации свалок, уничтожения бактерий, необходимых для очистки сточных вод, а загрязнение воздуха обусловлено сжиганием фармацевтических препаратов. Лучшая система утилизации медицинских отходов должна иметь минимальную оценку риска для объектов по обращению с отходами, незначительное воздействие на здоровье человека, минимальное воздействие на окружающую среду, а также быть экономически эффективной и легко внедряемой [2].

Основные методы утилизации включают инкапсуляцию, инертзацию, иммобилизацию, захоронение на свалках, сжигание в открытых контейнерах, химическое разложение [3].

Одним из методов решения проблемы с ненадлежащей утилизацией фармацевтических препаратов является возможность применения лекарств в качестве ингибито-

ров коррозии металлов. Данная тематика изучается уже более 10 лет [4-7].

Известно, что наиболее эффективными ингибиторами коррозии являются органические соединения, молекулы которых содержат ненасыщенные связи, ароматические кольца и гетероатомы, такие как *O*, *N*, *S* и т.д. [8, 9] Однако в настоящее время в связи с жесткими требованиями экологических органов во всем мире использование органических ингибиторов ограничивается.

Многие медицинские препараты с истекшим сроком годности имеют сходную структуру с органическими ингибиторами и могут применяться в качестве ингибиторов коррозии металлов. Это позволяет использовать их повторно, а не отправлять на дорогостоящую утилизацию.

Ранее [4] нами изучена защитная эффективность просроченного препарата Omeprazole в 1*N* растворах *HCl* и *H₂SO₄*. Исследование проводилось методами гравиметрии, потенциодинамической поляризации и импедансной спектроскопии. Морфология поверхности стального образца после коррозионных испытаний оценена посредством сканирующего электронного микроскопа. Величина защитного эффекта Omeprazole достигает 90% при концентрации 40 мг/л по данным гравиметрических испытаний. Анализ поляризационных кривых показал, что Omeprazole вызывает ингибирование обеих парциальных электродных реакций. Показано, что адсорбция Omeprazole на поверхности стали подчиняется изотерме Ленгмюра.

В [5] изучался препарат Etoricoxib с истекшим сроком годности в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 0,5*M* растворе *H₃PO₄*. Данные, полученные путем анализа поляризационных кривых, свидетельствуют об уменьшении тока коррозии стали. Оптимальной концентрацией при температуре 30 °C является 225 мг/л, при

температуре 60 °С – 125 мг/л, которые соответствуют защитной эффективности 80,6% и 63,8% соответственно. Это объясняется тем, что повышение температуры уменьшает адсорбцию ингибитора на металлической поверхности, его адсорбция подчиняется изотерме Ленгмюра. Отрицательное значение свободной энергии адсорбции говорит о том, что процесс является самопроизвольным. Авторы считают, что ее величина $-0,3265 \text{ КДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ обусловлена электростатическим взаимодействием между поверхностью металла и препаратом.

В статье [6] приведены результаты исследования препарата Desloratadine с истекшим сроком годности в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 1M растворе HCl. Методом потенциодинамической поляризации показано, что введение Desloratadine в коррозионную среду вызывает уменьшение тока коррозии. Гравиметрические исследования показали, что защитный эффект Desloratadine достигает 93% при концентрации $19,3\cdot 10^{-5} \text{ M}$ в 24-часовых экспериментах. По полученным данным, препарат адсорбируется на поверхности углеродистой стали в соответствии с изотермой Ленгмюра, образуя защитную пленку. Показано, что кажущаяся энергия активации E_a процесса коррозии увеличивается в присутствии ингибитора. Это свидетельствует о том, что имеет место энергетический механизм коррозии наряду с блокировочным, который авторы считают единственным, принимая степень покрытия поверхности ингибитором θ равной его защитному эффекту. В работе [7] проводились исследования препарата Dulcolax с истекшим сроком годности в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 1M растворе HCl с использованием химико-аналитических и электрохимических методов. Концентрация препарата варьировала в пределах 100...500 мг/л при 7-часовой продолжительности эксперимента. Величина защитного эффекта составляла более 90% при наивысшей его концентрации. Данные электрохимической импедансной спектроскопии показали, что размер годографов растет пропорционально концентрации ингибитора. Это объясняется преимущественным механизмом переноса

заряда в коррозионном процессе растворения стали.

Целью данной работы является изучение ингибирующей эффективности просроченного препарата Anaprilin по отношению к коррозии углеродистой стали в 1N растворе серной кислоты.

Методика эксперимента

Электрохимические измерения и коррозионные испытания проводились на углеродистой стали Ст3 состава, масс. %: 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 0,5M H_2SO_4 .

Серная кислота использовалась категории “химически чистая”. Продолжительность гравиметрических экспериментов составляла 2 и 24 ч при комнатной температуре и 0,5 ч при 80 °С. Образцы из углеродистой стали Ст3 были отполированы до 6 класса чистоты и обезжирены ацетоном перед экспериментами.

В качестве ингибитора использовался просроченный препарат Anaprilin (пропранолол) (RS)-1-изопропиламино-3-(1-нафтокси)-2-пропанола гидрохлорид. Как лекарство, он оказывает антигипертензивное, антиангинальное и антиаритмическое действие. Структурная формула препарата приведена на рис. 1. Концентрация ингибитора варьировалась в диапазоне 20...80 мг/л.

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. Противозлектрод – гладкая платина.

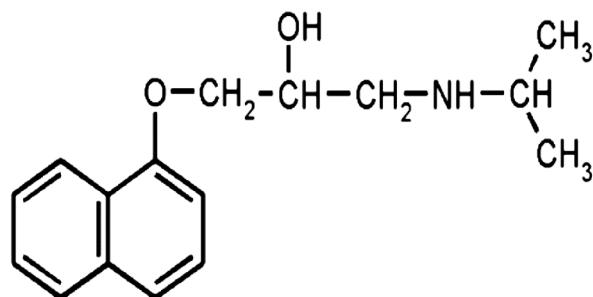


Рис. 1. Структурная формула Anaprilin
Fig. 1. The structural formula of Anaprilin

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*.

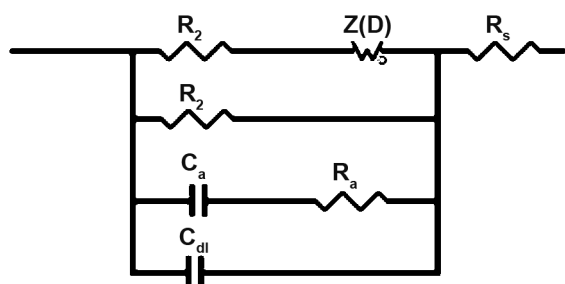


Рис. 2. Эквивалентная схема, имитирующая поведение стального электрода в кислых растворах

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

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, образующихся 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 растворе соответственно. Плотности тока коррозии рассчитывались путем экстраполяции Тафелевских участков поляризационных кривых на потенциал коррозии. Все электрохимические исследования проводились при комнатной температуре.

Исследования скорости массопереноса водорода проводились при комнатной температуре по методике, разработанной Н.В. Кардаш и В.В. Батраковым [10]. 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 1*N* растворе H_2SO_4 , а в *табл. 1* приведены кинетические параметры, рассчитанные на их основе.

При введении ингибитора в исследуемую среду наблюдается незначительное смещение потенциала коррозии в положительную сторону. С ростом концентрации Anaprilin токи коррозии уменьшаются, что, в свою очередь, вызывает рост защитной эффективности. Наибольшее защитное действие

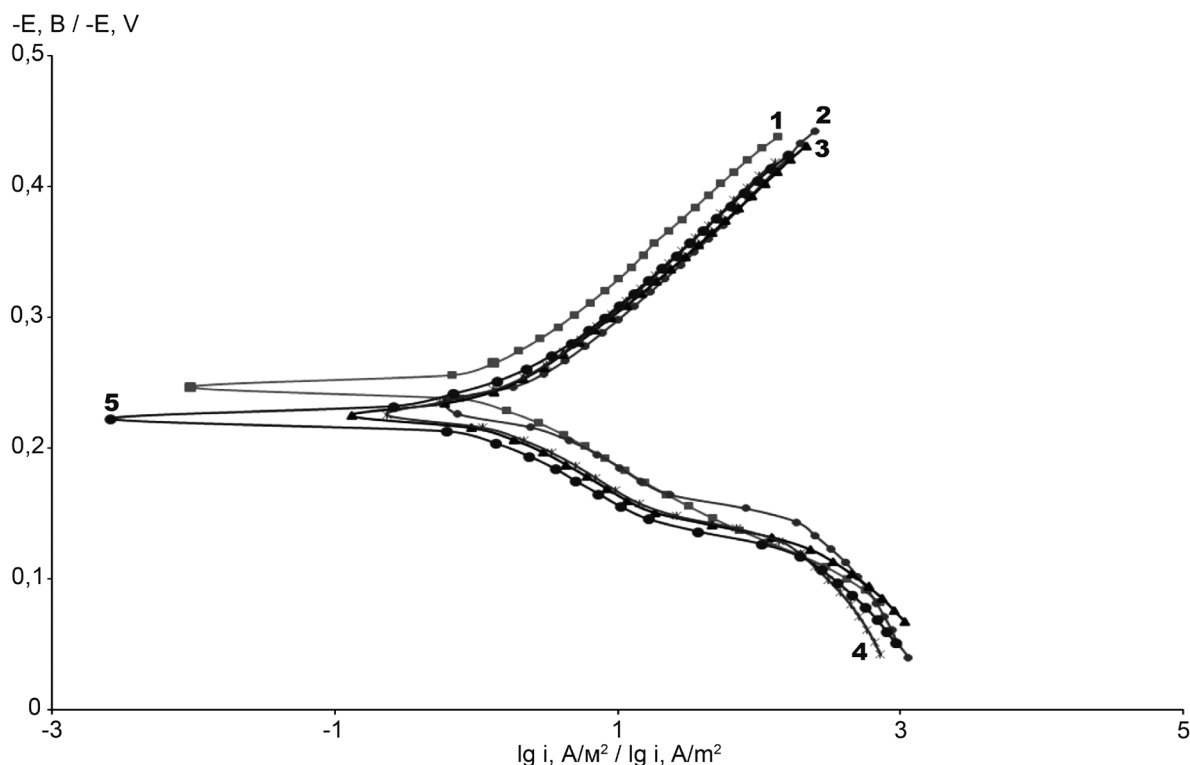


Рис. 3. Поляризационные кривые, полученные в 1N растворе H_2SO_4 в отсутствие (1) и при концентрациях Anaprilin, мг/л: 2 – 20, 3 – 40, 4 – 60, 5 – 80

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

Таблица 1. Кинетические параметры электрохимической коррозии углеродистой стали в 1N растворе H_2SO_4 в отсутствие и в присутствии ингибитора (Инг)

Table 1. Kinetic parameters of electrochemical corrosion of carbon steel in a solution of 1N H_2SO_4 in the absence and in the presence of an inhibitor (Inh)

C_{inh} , мг/л / C_{inh} , mg/L	E_{κ} , В / E_{corr} , V	i_{κ} , A/m ² / i_{corr} , A/m ²	b_a , В / b_a , V	b_{κ} , В / b_c , V	Z, %
Фон / absent	-0,25	1,36	0,054	0,100	-
20	-0,23	1,09	0,056	0,105	20,0
40	-0,23	0,55	0,050	0,110	60,0
60	-0,23	0,58	0,063	0,105	78,0
80	-0,23	0,27	0,051	0,105	80,0

Z=80% достигается при наивысшей концентрации. Anaprilin вызывает преимущественно замедление анодного процесса.

Результаты 2-х часовых коррозионных испытаний углеродистой стали в исследуемом растворе кислоты и величины защитных эффектов ингибитора приведены в табл. 2.

Защитный эффект ингибитора возрастает с увеличением концентрации Anaprilin. Уже при концентрации 20 мг/л защитный эффект равен 61%. Дальнейшее повышение концентрации приводит к значениям Z=76%.

Увеличение времени экспозиции до 24 часов (табл. 3), привело к увеличению значений Z при всех концентрациях ингибитора.

Таблица 2. Скорость коррозии стали в растворе H_2SO_4 и защитный эффект Анаприлин, по данным гравиметрических коррозионных испытаний. Время выдержки – 2 часа при комнатной температуре

Table 2. Steel corrosion rate in H_2SO_4 solution and protective effect of Anaprilin according to the gravimetric corrosion tests. Exposure time is 2 hours at room temperature

$C_{инг}$, мг/л / C_{inh} , mg/L	K , г/(м ² ·ч) / K , g/(m ² ·h)	Z, %
Фон / absent	9,847	-
20	3,886	61,0
40	2,752	72,0
60	2,348	76,0
80	2,412	75,5

Таблица 3. Скорость коррозии стали в растворе H_2SO_4 и защитный эффект Анаприлин по данным гравиметрических коррозионных испытаний. Время воздействия 24 часа при комнатной температуре

Table 3. Steel corrosion rate in H_2SO_4 solution and protective effect of Anaprilin according to the gravimetric corrosion tests. Exposure time 24 hours, at room temperature

$C_{инг}$, мг/л / C_{inh} , mg/L	K , г/(м ² ·ч) / K , g/(m ² ·h)	Z, %
Фон / absent	9,523	-
20	3,667	62,0
40	1,561	84,0
60	1,335	86,0
80	0,759	92,0

Коррозионные испытания при 80 °С показали, что защитная эффективность несколько ниже, чем при комнатной температуре (табл. 4).

Сравнение защитных эффектов, рассчитанных по данным коррозионных и поляризационных испытаний, показывает качественное согласие, а некоторые расхождения в числовых значениях, очевидно, связано с разной продолжительностью эксперимента. В случае коррозионных испытаний время экспозиции – 0,5, 2 и 24 часа, в то время как при поляризационных измерениях – не более 15 минут.

Для решения вопроса о механизме ингибиторного действия рассчитаем кажущуюся энергию активации E_a процесса коррозии в

исследуемом растворе в отсутствие и в присутствии ингибитора, используя уравнение Аррениуса:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \left[\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \right], \quad (4)$$

где K_1 и K_2 – скорости коррозии стали при температурах 293 К и 353 К соответственно, $T_1=293$ К, $T_2=353$ К.

Полученные величины E_a приведены в табл. 5, из которой следует, что в ингибированных средах энергия активации процесса отличается от ее величины в фоновом растворе, хотя и незначительно. При совпадении этих величин, можно было бы утверждать наличие блокировочного механизма действия ингибитора. Наблюдаемое

Таблица 4. Скорость коррозии стали в растворе H_2SO_4 и защитный эффект Анаприлин по данным гравиметрических коррозионных испытаний при 80 °С. Время воздействия – 0,5 часа

Table 4. Steel corrosion rate in H_2SO_4 solution and protective effect of Anaprilin according to the gravimetric corrosion tests at 80 °C. Exposure time is 0.5 hours

$C_{инг}$, мг/л / C_{inh} , mg/L	K , г/(м ² ·ч) / K , g/(m ² ·h)	Z, %
Фон / absent	330,9	-
20	192,3	42,0
40	118,6	64,0
60	77,41	77,0
80	86,71	74,0

Таблица 5. Величины кажущейся (эффективной) энергии активации процесса коррозии стали в 1N растворе H_2SO_4

Table 5. The values of the apparent (effective) activation energy of the steel corrosion process in 1N H_2SO_4 solution

$C_{инг}$, мг/л / C_{inh} , mg/L	$E_{a.эф.}$, кДж/моль / $E_{a.эф.}$, kJ/mol
Фон / absent	50,3
20	55,9
40	53,9
60	50,0
80	51,3

небольшое различие позволяет допустить смешанный механизм: блокировочный наряду с энергетическим.

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 способность снижать диффузию водорода в металл. Анаприлин, начиная с концентрации 20 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. 6).

Защитная эффективность исследуемого ингибитора в 1N растворе H_2SO_4 подтверждается результатами импедансных измерений (рис. 4).

Диаметр полукружностей на диаграмме

Найквиста, измеренной в растворе H_2SO_4 , увеличивается с ростом концентрации ингибитора (рис. 4). Это свидетельствует о снижении скорости коррозии стали.

Анализ диаграмм Найквиста проведен с использованием эквивалентной схемы рис. 2 по методике, описанной в [11]. Приведенные на рис. 4 годографы соответствуют увеличению сопротивления переносу заряда в анодной реакции при введении ингибитора и увеличении его концентрации. Это согласуется с замедлением анодной реакции ингибитором в исследуемом растворе, показанным также на основе поляризационных кривых. Емкость двойного электрического слоя снижается при введении ингибитора и росте его концентрации, свидетельствуя о его адсорбции на поверхности стального электрода. Это позволяет рассчитать степень заполнения поверхности электрода ингибитором по формуле (5):

Таблица 6. Влияние Анаприлин на ток диффузии водорода через стальную мембрану в растворе $1N H_2SO_4$ и коэффициент его ингибирования γ

Table 6. Effect of Anaprilin on the hydrogen diffusion current through a steel membrane in $1N H_2SO_4$ solution and its inhibition coefficient γ

$C_{инг}$, мг/л / C_{inh} , mg/L	i_{IP} A/m ² / i_{IP} A/m ²	γ
Фон / absent	0,76	-
20	0,55	1,39
40	0,69	1,10
60	0,65	1,12
80	0,58	1,31

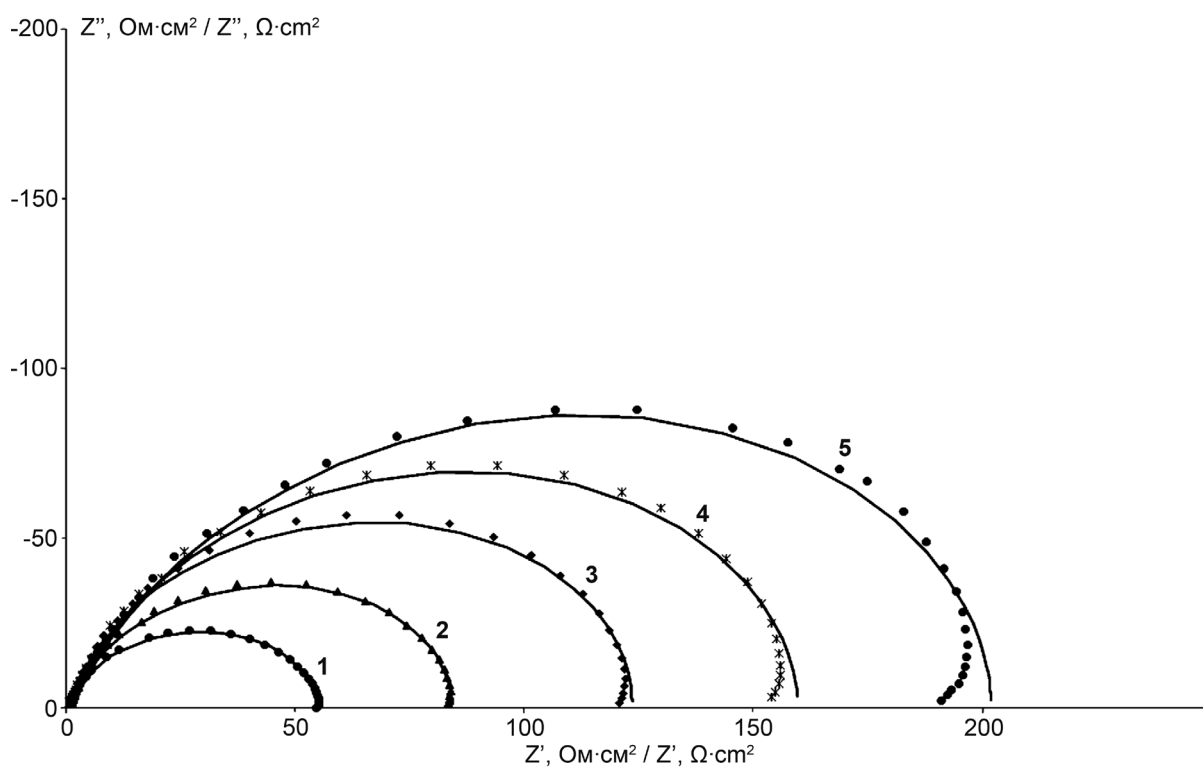


Рис. 4. Диаграмма Найквиста для стального электрода в $1N$ растворе H_2SO_4 в отсутствие (1) и в присутствии Анаприлин, мг/л: 2 – 20, 3 – 40, 4 – 60, 5 – 80

Fig. 4. Nyquist diagram for a steel electrode in $1N H_2SO_4$ solution in the absence of (1) and in the presence of Anaprilin, mg/L: 2 – 20, 3 – 40, 4 – 60, 5 – 80

$$\theta = \frac{(C_0 - C)}{(C_0 - C_1)}, \quad (5)$$

где C_0 , C и C_1 – емкости двойного электрического слоя в растворе без добавления ингибитора, с ним и с максимальным заполнением поверхности электрода частицами ингибитора соответственно.

Расчет C_1 проводился на основе зависимости $C_{dl} = C_{dl}(1/C_{inh})$. Полученная величина для раствора $1N$ серной кислоты оказалась равной 22 мкФ/см^2 . Степени заполнения поверхности электрода Анаприлин θ в зависимости от его концентрации в исследуемых средах представлены в табл. 7.

Для выбора изотермы, соответствующей

данным, приведенным в табл. 7, была проведена проверка их соответствия изотерме Темкина $B_c = \exp(f\theta)$, изотерме Фрумкина: $B_c = [\theta/(1-\theta)] \exp(-2a\theta)$, и изотерме Ленгмюра $c/\theta = 1/B + c$, где f – коэффициент энергетической неоднородности поверхности; B – константа адсорбционного равновесия; a – аттракционная константа, характеризующая взаимодействие между адсорбированными частицами; c – концентрация ингибитора.

Для этого были рассмотрены графические зависимости θ от $(\ln c)$, $\ln[c(1-\theta)/\theta]$ от θ и c/θ от c , соответствующие изотермам Темки-

на, Фрумкина и Ленгмюра соответственно.

Оказалось, что наилучшая подгонка данных под линейную зависимость соответствует изотерме Фрумкина (рис. 5). В табл. 8 приведены численные значения достоверности аппроксимации, рассчитанные по методу наименьших квадратов. Отрезок, отсекаемый на вертикальной оси рис. 5с, позволяет рассчитать константу адсорбционного равновесия B , которая оказалась равной 0,005 л/мг.

При известной величине B , свободная энергия адсорбции $-\Delta G_{ads}^o$ рассчитывается по формуле:

Таблица 7. Значения C_{dl} и покрытия поверхности электрода θ Анаприлин в растворе H_2SO_4
Table 7. The C_{dl} values and electrode surface coverage θ with Anaprilin in H_2SO_4 solution

$C_{инг}$, мг/л / $C_{инг}$, mg/L	C_{dl} , мкФ/см ² / C_{dl} , $\mu F/cm^2$	θ
Фон / absent	76,9	-
20	52,1	0,16
40	32,2	0,43
60	29,9	0,59
80	15,7	0,86

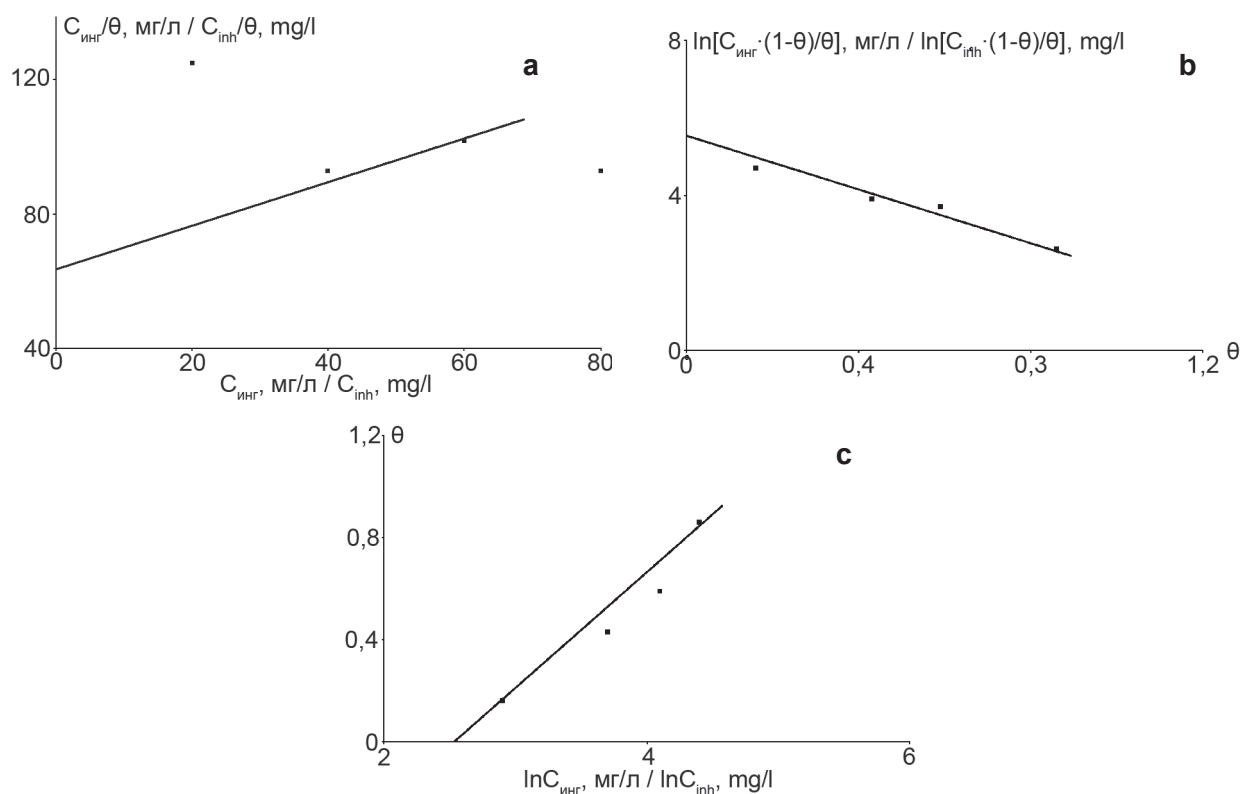


Рис. 5. Изотермы адсорбции для Ст3 в 1Н растворе H_2SO_4 в присутствии Анаприлин
Fig. 5. Adsorption isotherms for St3 steel in 1N H_2SO_4 solution with Anaprilin

Таблица 8. Показатели точности аппроксимации
Table 8. Indicators of the accuracy of the approximation

Изотерма / Isotherm	Точность аппроксимации, R ² / Accuracy of the approximation, R ²
Ленгмюр / Langmuir	0,556
Темкин / Temkin	0,949
Фрумкин / Frumkin	0,973

$$-\Delta G_{ads}^0 = RT \ln(B \cdot 10^6), \quad (6)$$

где 10⁶ – концентрация воды в растворе, мг/л.

Значение $-\Delta G_{ads}^0$ при температуре 298 К в 1*H* растворе H₂SO₄ характеризуются величиной 21,1 кДж/моль. Можно полагать, что адсорбция Анаприлин носит физический характер.

Выводы

Посредством гравиметрии, потенциодинамической поляризации, импедансной спектроскопии и электрохимической диффузионной методики изучена защитная эффективность препарата Анаприлин с истекшим сроком годности против коррозии углеродистой стали в 1*H* растворе серной кислоты.

Величина защитного эффекта Анаприлин достигает 92% при концентрации 80 мг/л при 24 часах экспозиции при комнатной температуре. Анализ поляризационных кривых показал, что Анаприлин вызывает торможение анодного процесса. Данные импедансной спектроскопии показывают снижение емкости двойного электрического слоя с ростом концентрации препарата. Это позволило рассчитать степень заполнения поверхности электрода, определить тип изотермы адсорбции и рассчитать свободную энергию адсорбции Анаприлин.

Литература

1. Ohoro C.R., Adeniji A.O., Okoh A.I., Okoh O.O. Distribution and chemical analysis of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environmental systems: a review // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. –

V. 16, no.17. doi.org/10.3390/ijerph16173026

2. Ghasemi M.K., Yusuff R.B.M. Advantages and disadvantages of healthcare waste treatment and disposal alternatives: Malaysian scenario // Pol. J. Environ. Stud. – 2016. – V. 25, no. 1. – P.17-25. doi.org/10.15244/pjoes/59322

3. Kagonji I.S., Manyele S.V. Analysis of the measured medical waste generation rate in Tanzanian district hospitals using statistical methods // Afr. J. Environ. Sci. Technol. – 2011. – V. 5, no. 10. – P. 815-833.

4. Tsygankova L.E., Bryksina V.A., Uryadnikov A.A. and Abramov A.E. Protective efficiency of expired drug against acid corrosion of carbon steel // Int. J. Corros. Scale Inhib. – 2022. – V. 11, no. 2. – P. 564-576.

5. Anaee R.A., Hameed I.R., Hameed M.A., Naser S.A., Mohammed M.K. Expired Etoricoxib as a corrosion inhibitor for steel in acidic solution // Journal of Molecular Liquids. – 2019. – V. 279. – P. 594-602. doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.169

6. Salah E. Expired Desloratidine Drug as Inhibitor for Corrosion of Carbon Steel Pipeline in Hydrochloric acid Solution // Int. J. Electrochem. Sci. – 2021. – V. 16. – P. 150-172. doi:10.20964/2021.01.27

7. Abdel R.S., Aleid M.S., Khaled A., Mohammad D., Aljuhani E.H., Al-Mhyawi S.R., Alshammary F., Abdallah M. Expired Dulcolax Drug as Corrosion Inhibitor for Low Carbon Steel in Acidic Environment // Int. J. Electrochem. Sci. – 2022. – V. 17. doi:10.20964/2022.06.69

8. Kardash N.V., Batrakov V.V. Method of determination of hydrogen diffusing through the membrane // Protection of metals. – 1995. – V. 31, no. 4. – P. 441-444.



9. Tsygankova L.E., Abramov A.E., Uryadnikov A.A., Semenyuk T.V., Strel'nikova K.O., Vagapov R.K and Mikhalkina O.G. Study of the protection of carbon steel with an inhibitory composition in hydrogen sulfide environments by electrochemical methods // *Int. J. Corros. ScaleInhib.* – 2023. – V. 12, no. 3. – P. 811-824. doi:10.17675/2305-6894-2023-12-3-1

References

1. Ohoro, C. R., Adeniji, A. O., Okoh, A. I., & Okoh, O. O. (2019). Distribution and chemical analysis of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environmental systems: a review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16(17). doi.org/10.3390/ijerph16173026
2. Ghasemi, M. K., Yusuff, R. B. M. (2016). Advantages and disadvantages of healthcare waste treatment and disposal alternatives: Malaysian scenario. *Pol. J. Environ. Stud*, 25(1), 17-25. doi.org/10.15244/pjoes/59322
3. Kagonji, I. S., Manyele, S. V. (2011). Analysis of the measured medical waste generation rate in Tanzanian district hospitals using statistical methods. *Afr. J. Environ. Sci. Technol*, 5 (10), 815-833.
4. Tsygankova, L. E., Bryksina, V. A., Uryadnikov, A. A. & Abramov, A. E. (2022). Protective efficiency of expired drug against acid

corrosion of carbon steel. *Int. J. Corros. Scale Inhib*, 11(2), 564-576.

5. Anae, R. A., Hameed, I. R., Hameed, M. A., Naser, S. A., & Mohammed, M. K. (2019). Expired Etoricoxib as a corrosion inhibitor for steel in acidic solution. *Journal of Molecular Liquids*, 279, 594-602. doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.169
6. Salah, E. (2021). Expired Desloratidine Drug as Inhibitor for Corrosion of Carbon Steel Pipeline in Hydrochloric acid Solution. *Int. J. Electrochem. Sci*, 16, 150-172. doi:10.20964/2021.01.27
7. Abdel, R. S., Aleid, M. S., Khaled, A., Mohammad, D., Aljuhani, E. H., Al-Mhyawi, S. R., Alshammary, F. & Abdallah, M. (2022). Expired Dulcolax Drug as Corrosion Inhibitor for Low Carbon Steel in Acidic Environment. *Int. J. Electrochem. Sci*, 17, doi:10.20964/2022.06.69
8. Kardash, N. V., Batrakov, V. V. (1995). Method of determination of hydrogen diffusing through the membrane. *Protection of metals*, 31(4), 441-444.
9. Tsygankova, L. E., Abramov, A. E., Uryadnikov, A. A., Semenyuk, T. V., Strel'nikova, K. O., Vagapov, R. K & Mikhalkina, O. G. (2023). Study of the protection of carbon steel with an inhibitory composition in hydrogen sulfide environments by electrochemical methods. *Int. J. Corros. ScaleInhib*, 12(3), 811-824. doi:10.17675/2305-6894-2023-12-3-1

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