

## Использование просроченного лекарства Дротаверина для антикоррозионной защиты стали в растворе HCl

Л.Е. Цыганкова\*, В.А. Брыксина,  
А.А. Урядников, Л.А. Канаева

Тамбовский государственный  
университет имени Г.Р. Державина,  
Тамбов, Россия  
\*e-mail: vits21@mail.ru

В последние два десятилетия в научной литературе широко освещаются вопросы использования просроченных лекарственных препаратов для антикоррозионной защиты металлов. Целью данной работы является исследование просроченного лекарства Дротаверин (Но-шпа) в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали Ст3 в 1 М растворе HCl. Концентрация Дротаверина варьировала в пределах 20-80 мг/л.

Исследования проведены методами гравиметрии, потенциодинамической поляризации, импедансной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии. Гравиметрические исследования ингибирующего действия Дротаверина проведены при комнатной температуре в течение 2 и 24 ч и при 80°C в течение 0,5 ч с защитным эффектом (Z, %) 72, 82 и 96 %, соответственно, при концентрации 80 мг/л. Рассчитанные по поляризационным и импедансным измерениям величины Z близки к определенным гравиметрически. Оценены степени заполнения поверхности электрода ингибитором и показано подчинение адсорбции Дротаверина изотерме Ленгмюра. Рассчитанная свободная энергия адсорбции, равная -29 кДж/моль, свидетельствует о физической адсорбции препарата на поверхности стали с некоторой долей хемосорбции. Дротаверин вызывает замедление катодной и анодной электродных реакций.

**Ключевые слова:** коррозия; сталь; ингибирование; соляная кислота; дротаверин; поляризация; гравиметрия; импеданс.

---

## HCl ерітіндісінде болатты коррозиядан қорғау үшін мерзімі өткен Дротаверин дәрісін қолдану

Л.Е. Цыганкова\*, В.А. Брыксина,  
А.А. Урядников, Л.А. Канаева

Г.Р. Державин атындағы Тамбов  
мемлекеттік университеті,  
Тамбов, Ресей  
\*e-mail: vits21@mail.ru

Соңғы жиырма жылда ғылыми әдебиеттерде мерзімі өткен дәрілік препараттарды металдарды коррозиядан қорғау үшін қолдану мәселелері кеңінен жарыққа шықты. Бұл жұмыстың мақсаты – мерзімі өткен Дротаверин (Но-шпа) дәрісін 1 М HCl ерітіндісіндегі Ст3 көміртеккі болаттың коррозия ингибиторы ретінде зерттеу. Дротаверин концентрациясы 20-80 мг/л аралығында өзгерді.

Зерттеулер гравиметрия, потенциодинамикалық поляризация, импеданстық спектроскопия, сканерлеуші электронды микроскопия әдістерімен жүргізілді. Дротаверинді тежеу әсерінің гравиметриялық зерттеулері бөлме температурасында 2 және 24 сағат бойы, сондай-ақ 80°C температурада 0,5 сағат бойы жүргізіліп, 80 мг/л концентрацияда сәйкесінше 72, 82 және 96% қорғаныс әсерін (Z, %) көрсетті. Поляризациялық және импеданстық өлшемдер бойынша есептелген Z мәндері гравиметриялық анықталған мәндерге жақын болды. Электрод бетін ингибитормен толтыру дәрежесі бағаланып, Дротаверинді адсорбциясы Ленгмюр изотермасына бағынатыны көрсетілді. Есептелген адсорбцияның еркін энергиясы -29 кДж/моль-ге тең болып, препараттың болат бетіндегі физикалық адсорбциясын, химиялық адсорбцияның белгілі бір үлесімен бірге көрсетеді. Дротаверин катодтық және анодтық электродтық реакцияларды бауалатады.

**Түйін сөздер:** коррозия; болат; ингибирлеу; тұз қышқылы; дротаверин; поляризация; гравиметрия; импеданс.

---

## Using expired drotaverine for corrosion protection of steel in HCl solution

L.E. Tsygankova\*, V.A. Bryaksin,  
A.A. Uryadnikov, L.A. Kanaeva

Derzhavin Tambov State University,  
Tambov, Russia  
\*e-mail: vits21@mail.ru

In the last two decades, the scientific literature has widely covered the use of expired medicinal preparations for anticorrosion protection of metals. The aim of this work is to study expired Drotaverine (No-shpa) as a corrosion inhibitor for St3 carbon steel in a 1 M HCl solution. Drotaverine concentrations ranged from 20-80 mg/L.

Studies were conducted using gravimetry, potentiodynamic polarization, impedance spectroscopy, and scanning electron microscopy. Gravimetric studies of Drotaverine's inhibitory effect were carried out at room temperature for 2 and 24 hours, and at 80°C for 0.5 hours, showing a protective effect (Z, %) of 72, 82, and 96%, respectively, at a concentration of 80 mg/L. The Z values calculated from polarization and impedance measurements were close to those determined gravimetrically. The surface coverage of the electrode by the inhibitor was estimated, and it was shown that Drotaverine adsorption conforms to the Langmuir isotherm. The calculated free energy of adsorption, equal to -29 kJ/mol, indicates physical adsorption of the drug on the steel surface with some contribution from chemisorption. Drotaverine causes a deceleration of both cathodic and anodic electrode reactions.

**Keywords:** corrosion; steel; inhibition; hydrochloric acid; drotaverine; polarization; gravimetry; impedance.



Статья (Article)

## Использование просроченного лекарства Дротаверина для антикоррозионной защиты стали в растворе HCl

Л.Е. Цыганкова\*, В.А. Брыксина, А.А. Урядников, Л.А. Канаева

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, ул. Интернациональная 33, 392000 Тамбов, Россия  
\*e-mail: [vits21@mail.ru](mailto:vits21@mail.ru)

### 1. Введение

В последние два десятилетия в научной литературе широко освещаются вопросы использования просроченных лекарственных препаратов для антикоррозионной защиты металлов [1-3]. Структура их молекул близка к традиционным органическим ингибиторам. Просроченные лекарственные препараты считаются экологичными, биоразлагаемыми, экономичными вследствие низкой стоимости. Поэтому их относят к «зеленым» ингибиторам наряду с растительными экстрактами и ионными жидкостями. В работе [1] гравиметрическим методом была изучена ингибирующая эффективность пяти антибиотиков против коррозии стали в 0,1, 0,01 и 0,001 Н растворах HNO<sub>3</sub>, HCl и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Авторы отмечают, что защитная эффективность различных антибиотиков колеблется в широких пределах от 17 до 93% в зависимости от типа кислоты и ее концентрации. Авторы [2] описывают более 10 медицинских препаратов, которые применяются в качестве ингибиторов коррозии различных металлов (сталь, алюминий, цинк) в средах серной и соляной кислот. В обзоре [3] приводят данные по ингибирующей способности 30 лекарств против коррозии мягкой стали в 1 М растворе HCl. Дается общая характеристика достаточно высокой ингибирующей эффективности лекарств по отношению к Al, Zn и меди в кислых растворах. Концентрация ингибиторов составляла 100–600 ppm, их защитный эффект варьировал в пределах 80–97%. В работе [4] исследовано коррозионное поведение мягкой стали в 1 М водном растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в присутствии лекарства Pantoprazole с использованием потенциодинамической поляризации, квантово-химических вычислений, методов Монте Карло (МК) и молекулярной динамической (МД) симуляции. При концентрации 250 ppm защитная эффективность пантопразола достигает 94%.

Авторы [5] изучали препарат Etoricoxib с истекшим сроком годности в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 0,5 М растворе H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Оптимальной концентрацией при температуре 30°C является 225 мг/л, при температуре 60°C – 125 мг/л, которые соответствуют защитной эффективности 80,6% и 63,8% соответственно. Адсорбция препарата подчиняется изотерме Ленгмюра. Авторы [6] исследовал препарат Desloratadine с истекшим сроком годности в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 1 М растворе HCl. Гравиметрические исследования показали, что защитный эффект Desloratadine достигает 93% при концентрации 19,3·10<sup>-5</sup> М в 24-часовых экспериментах. По данным авторов, препарат адсорбируется на поверхности углеродистой стали в соответствии с изотермой Ленгмюра, образуя защитную пленку. Показано, что кажущаяся энергия активации E<sub>a</sub> процесса коррозии увеличивается в присутствии ингибитора. В работе [7] описано использование пенициллина, ампициллина и амоксициллина в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 1 М растворе HCl при 298 К. По данным потенциодинамической поляризации (ПДП), при концентрации 10 мМ защитный эффект пенициллина, ампициллина и амоксициллина равен, соответственно, 98,4%, 97,5%, 93%. Их адсорбция на поверхности стали подчиняется изотерме Ленгмюра. Все лекарства являются ингибиторами смешанного действия. В работе [8] описан ингибирующий эффект моксифлоксацина (Moxifloxacin) против коррозии углеродистой стали в 1 М растворе HCl при 303 К. Защитный эффект при концентрации 300 ppm, по данным гравиметрии, равен 94,1%, а по данным ПДП и спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ) – 92%. Препарат является ингибитором смешанного действия. Его адсорбция подчиняется изотерме Ленгмюра.

Received 12 Feb 2025; Received in revised form DD MM 2025; Accepted 04 Apr 2025; Available online 29 Jun 2025.

© 2025 The Authors

This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

В исследовании [9] описана защитная эффективность просроченного лекарства Tobramycin в 2 М растворе HCl при 303 К. При концентрации 500 ppm защитный эффект, по данным ПДП, равен 90,5%, а по данным СЭИ – 84,3%. Препарат замедляет обе парциальные электродные реакции, его адсорбция подчиняется изотерме Ленгмюра.

Целью данной работы является исследование просроченного лекарства Дротаверин (Но-шпа) в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали Ст3 в 1 М растворе HCl.

## 2. Эксперимент

Коррозионные гравиметрические испытания и электрохимические измерения проводились в 1 М растворе HCl на образцах стали Ст3 с составом, масс. %: С – 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 качестве ингибитора использовался просроченный препарат Дротаверин – 1-(3,4-диэтокси-бензильден)-6,7-диэтокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин (в виде гидрохлорида) ( $M=397,507$  г/моль) (рисунок 1). В качестве лекарства препарат используется как спазмолитическое средство. Концентрация ингибитора варьировалась в пределах 20-80 мг/л. Образцы из углеродистой стали Ст3 были отполированы до зеркальной поверхности и обезжирены ацетоном перед экспериментами.

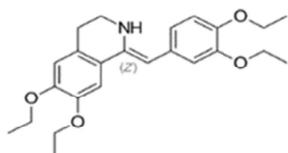


Рисунок 1 – Структурная формула Дротаверина

Поляризационные и импедансные измерения проводились в трехэлектродной ячейке после 15 минутной выдержки электрода в рабочем растворе. Потенциалы измерены по отношению к насыщенному хлорид-серебряному электроду и пересчитаны по водородной шкале. В качестве противоиэлектрода использовалась гладкая платина. Потенциодинамическая поляризация (скорость изменения потенциала 0,66 мВ/с) проводилась с использованием потенциостата IPC-Pro (разработка Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН).

Спектры импеданса изучались в диапазоне частот ( $\omega/2\pi$ ) от 10 кГц до 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.

Коррозионные испытания проводились при комнатной температуре в течение 2 и 24 ч и при 80°C в течение 30 мин. Эксперименты повторялись трижды и рассчитывались средние значения из полученных данных. Защитный эффект ингибитора рассчитывался по данным гравиметрических испытаний (1), поляризационных (2) и импедансных (3) измерений:

$$Z, \% = 100 \cdot (K_0 - K_{\text{инг}}) / K_0 \quad (1)$$

$$Z, \% = 100 \cdot (i_{\text{кор,0}} - i_{\text{кор,инг}}) \quad (2)$$

$$Z, \% = 100 \cdot (R_{\text{р,инг}} - R_{\text{р,0}}) \quad (3)$$

где  $K_0$  ( $i_{\text{кор,0}}$ ) и  $K_{\text{инг}}$  ( $i_{\text{кор,инг}}$ ) - скорости (плотности тока) коррозии в отсутствие и в присутствии ингибитора в растворах, соответственно,  $R_{\text{р,0}}$  и  $R_{\text{р,инг}}$  величины поляризационного сопротивления в неингибированном и ингибированном растворах, соответственно, рассчитанные по данным импедансных измерений. Для используемой эквивалентной схемы поляризационное сопротивление  $R_p$  рассчитывается с учетом сопротивления переноса заряда в анодной ( $R_1$ ), катодной ( $R_2$ ) реакциях и сопротивления массопереноса ( $R_d$ ) по формуле:

$$R_p = [R_1 \cdot (R_2 + R_d)] / (R_1 + R_2 + R_d) \quad (4)$$

Плотности тока коррозии рассчитывались путем экстраполяции Тафелевских участков поляризационных кривых на потенциал коррозии.

## 3. Результаты и обсуждение

Использование растворов соляной кислоты осуществляется в операциях кислотного травления металла, удаления накипи, кислотной очистки. Для уменьшения скорости растворения металла применяются ингибиторы. Процесс травления может быть как краткосрочным (2 ч), так и более длительным (24 ч). Поэтому защитная эффективность ингибитора оценивалась при указанной продолжительности травления. В таблицах 1 и 2 приведены результаты гравиметрических испытаний.

Защитная эффективность Дротаверина при комнатной температуре выше в течение 24-часовой экспозиции, чем двухчасовой. При максимальной из используемых концентраций величина  $Z$  равна 82% в первом случае и 72% – во втором. Даже при уменьшении концентрации ингибитора до 60 и 40 мг/л защитный эффект снижается лишь на 2%. При 80°C эффективность ингибитора существенно выше, чем при комнатной температуре, что может быть связано с увеличением хемосорбции ингибитора с ростом температуры (таблица 2).

**Таблица 1** – Скорость коррозии стали в отсутствие и в присутствии Дротаверина и его защитный эффект ( $Z, \%$ ) при комнатной температуре в течение 24 ч (числитель) и 2 ч (знаменатель)

$c_{инг}, \text{мг/л}$	$K_{ср}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$Z_{ср}, \%$
0	1,650/5,623	-
20	0,420/2,712	75/52
40	0,340/1,667	79/70
60	0,330/1,551	80/72
80	0,290/1,557	82/72

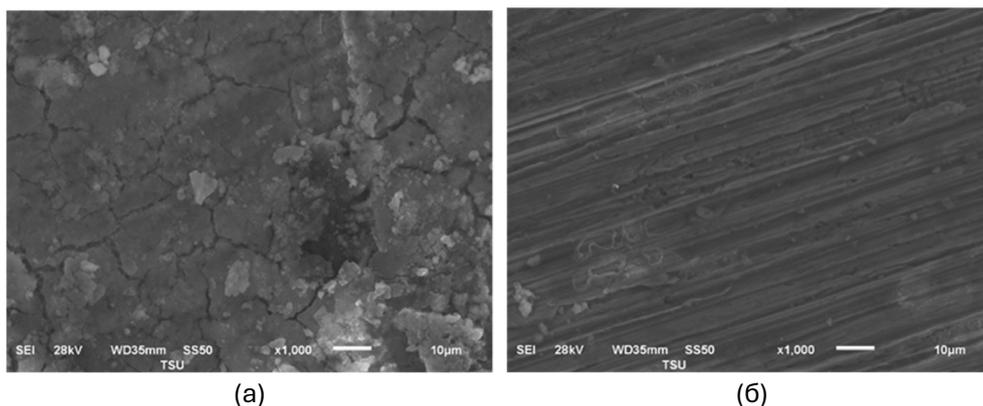
**Таблица 2** – Скорость коррозии стали в отсутствие и в присутствии Дротаверина и его защитный эффект ( $Z, \%$ ) при 80°C

$c_{инг}, \text{мг/л}$	$K_{ср}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$Z_{ср}, \%$
0	271,500	-
20	50,410	81
40	20,620	92
60	18,250	93
80	8,561	96

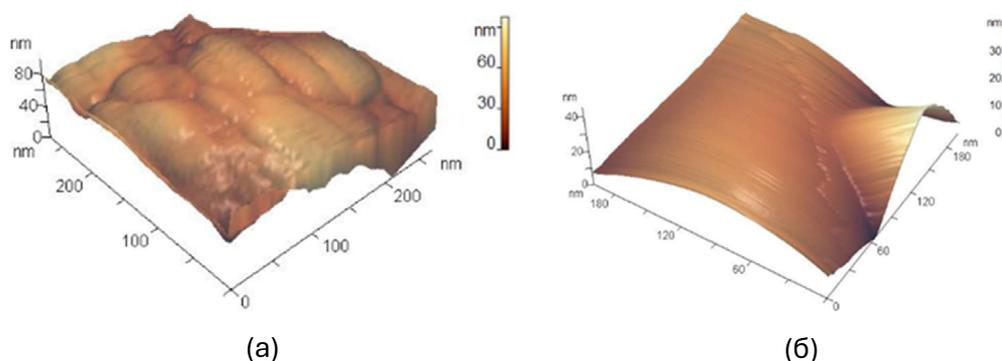
На рисунках 2 и 3 приведен внешний вид образцов стали после экспозиции в течение 24 часов в растворе без ингибитора и с ингибитором, полученный на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) и зондовом микроскопе Femtoscan, соответственно.

Как видно, состояние поверхности существенно улучшается после экспозиции образца стали в ингибированном растворе по сравнению с поверхностью после выдержки в растворе без ингибитора. Это

объясняется подавлением коррозии стали вследствие блокирования ингибитором активных участков поверхности. Анализ изображений поверхности образцов, полученных на сканирующем зондовом микроскопе (рисунок 3), свидетельствует об однородности морфологии поверхности стали после выдержки в растворе с ингибитором (рисунок 3б) по сравнению с состоянием поверхности после неингибированного раствора.



**Рисунок 2** – СЭМ-изображения поверхности стального образца после 24-часовой экспозиции в 1 М растворе HCl в отсутствие (а) и присутствии 80 мг/л Дротаверина (б)



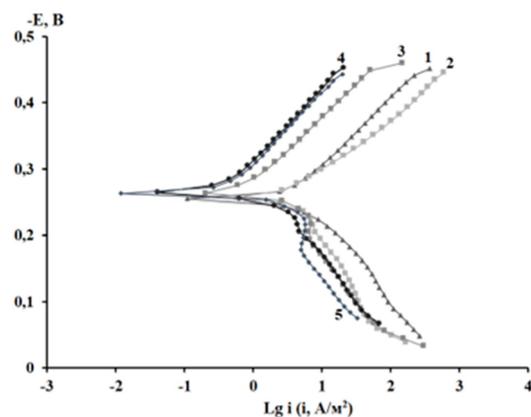
**Рисунок 3** – Изображения поверхности стальной пластины после экспозиции в 1 М растворе HCl в отсутствие (а) и в присутствии Дротаверина (б), полученные на сканирующем зондовом микроскопе Femtoscan (ООО НПФ РФ)

Согласно данным поляризационных измерений, дротаверин вызывает торможение анодного процесса на стальном электроде при всех изученных концентрациях и катодного – за исключением минимальной концентрации (рисунок 4). В таблице 3 приведены кинетические параметры стального электрода в исследуемых растворах при комнатной температуре и величины защитного эффекта  $Z$  дротаверина, рассчитанные по токам коррозии, определенным из поляризационных кривых. Как видно, величины  $Z$  близки к значениям, полученным гравиметрически.

Результаты импедансных измерений при  $E_{кор}$  показаны на диаграмме Найквиста (рисунок 5а).

Из рисунка 5а видно, что диаметр годографов возрастает при введении и увеличении концентрации Дротаверина в растворе. Это свидетельствует об увеличении общего сопротивления в системе и снижении скорости коррозии. Анализ данных импеданса проведен с использованием эквивалентной схемы, приведенной на рисунке 5б. 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.

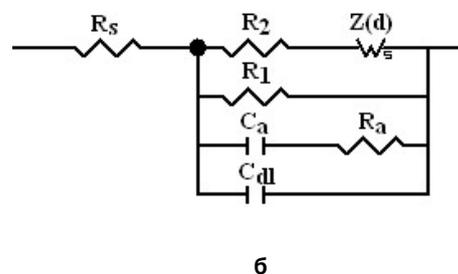
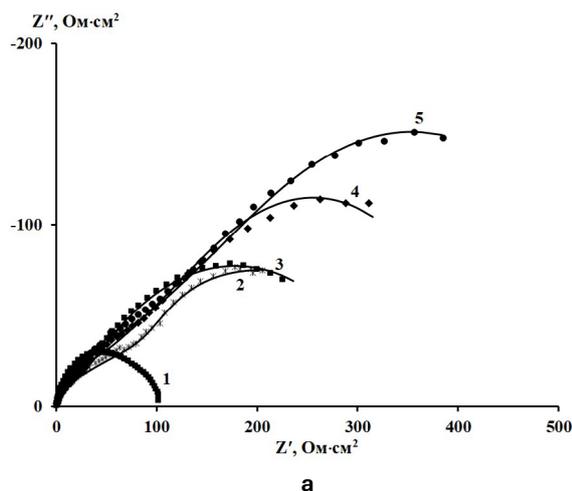
Численные значения некоторых элементов эквивалентной схемы, полученные в 1 М растворе HCl в отсутствие и в присутствии Дротаверина, представлены в таблице 4.



**Рисунок 4** – Поляризационные кривые, измеренные на стальном электроде в растворе 1М HCl в отсутствие (1) и в присутствии Дротаверина, мг/л: 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60, 5 – 80

**Таблица 3** – Кинетические параметры углеродистой стали в растворе 1 М HCl в отсутствие и в присутствии Дротаверина при комнатной температуре

$c_{инг}$ , мг/л	$-E_{кор}$ , В	$i_{кор}$ , А/м <sup>2</sup>	$b_a$ , В	$b_k$ , В	$Z$ , %
0	0,26	3,03	0,040	0,095	-
20	0,27	0,84	0,040	0,079	72
40	0,26	0,56	0,040	0,091	81
60	0,26	0,49	0,040	0,102	83
80	0,28	0,51	0,040	0,102	83



**Рисунок 5** – Диаграмма Найквиста Ст3 электрода в 1,0 М растворе HCl при  $E_{кор}$  в отсутствие (1) и в присутствии Дротаверина, мг/л: 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80 и эквивалентная схема, моделирующая поведение стального электрода в исследуемом растворе

Из таблицы 4 следует, что с введением Дротаверина в раствор HCl и увеличением концентрации растет сопротивление переноса заряда в анодной ( $R_1$ ) и катодной ( $R_2$ ) реакциях, что соответствует замедлению этих процессов и согласуется с результатами поляризационных измерений. В таблице приведены также величины поляризационного сопротивления  $R_p$  и рассчитанные по ним величины защитного эффекта ингибитора  $Z$ , удовлетворительно согласующиеся с результатами гравиметрических и поляризационных измерений.

Из таблицы 4 видно, что с введением ингибитора в раствор и увеличением его концентрации происходит снижение емкости двойного электрического слоя  $C_{dl}$ . Это свидетельствует об адсорбции дротаверина на поверхности электрода, что позволило рассчитать степени заполнения поверхности ингибитором ( $\theta$ ) и определить изотерму, которой подчиняется адсорбция, по методике, приведенной в [10]. Это изотерма Ленгмюра  $c/\theta = 1/V + c$ , где  $V$  – константа адсорбционного равновесия (рисунок 6).

Рассчитанные величины  $\theta$  приведены в таблице 5.

Для изотермы Ленгмюра наблюдается линейная зависимость в координатах  $c_{инг}/\theta - c_{инг}$ . Отрезок, отсекаемый на вертикальной оси (рисунок 6), позволяет рассчитать константу адсорбционного равновесия  $V$  ( $V = 0,125$  л/мг). Знание величины  $V$  позволяет оценить величину свободной энергии адсорбции  $-\Delta G_{ads}^0$  по формуле (5):

$$-\Delta G_{ads}^0 = RT \ln(V \cdot 10^6), \quad (5)$$

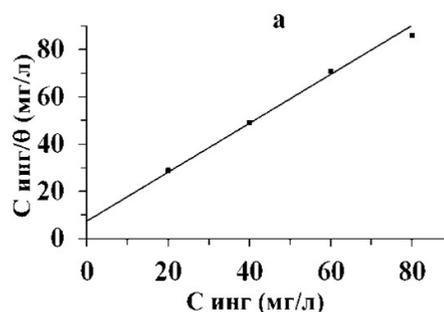
где  $10^6$  – концентрация воды в мг/л.

**Таблица 4** – Численные значения элементов эквивалентной схемы при  $E_{кор}$  стального электрода в 1 М растворе HCl в отсутствие и в присутствии Дротаверина

Элемент	Фон	Концентрация Дротаверина, мг/л			
		20	40	60	80
$R_s$ , Ом·см <sup>2</sup>	0,59	2,00	1,70	1,94	2,20
$C_{dl}$ , мкФ/см <sup>2</sup>	44,92	20,01	16,25	13,99	11,88
$R_1$ , Ом·см <sup>2</sup>	114,6	325,2	353,7	1442	2464
$R_2$ , Ом·см <sup>2</sup>	9,1	11,4	19,4	24,4	28,86
$R_p$ , Ом·см <sup>2</sup>	53,58	1036	1602	565,8	732,6
Sum of sq, %	5	7	8	7	4
$R_p$	109	290	290	419	582
$Z, \%$	-	62	62	74	81

**Таблица 5** – Зависимость степени заполнения поверхности стали дротаверином  $\theta$  от его концентрации в растворе HCl

$C_{инг}$ , мг/л	20	40	60	80
$\theta$	0,69	0,82	0,88	0,95



**Рисунок 6** – Изотерма адсорбции Ленгмюра для стали Ст3 в 1 М растворе HCl с ингибитором

Рассчитанная для температуры 298 К величина  $-\Delta G_{ads}^0$  равна 29 кДж/моль. Полученная величина свободной энергии адсорбции свидетельствуют о физическом характере адсорбции Дротаверина с некоторой долей хемосорбции.

#### 4. Заключение

Исследована защитная эффективность просроченного лекарства Дротаверина против коррозии углеродистой стали Ст3 в 1 М растворе соляной кислоты. По данным суточных гравиметрических коррозионных испытаний, защитная эффективность  $Z$  дротаверина при концентрации 80 мг/л достигает 82%, при повышении температуры до 80°C  $Z = 96\%$ . Поляризационные и импедансные измерения в исследуемых растворах в отсутствие и в присутствии Дротаверина подтвердили его высокую защитную эффективность. На основе импедансных измерений оценена адсорбция дротаверина, определена изотерма, которой она подчиняется, и рассчитана свободная энергия адсорбции, величина которой (-29 кДж/моль) свидетельствует о физической адсорбции препарата на поверхности стали с некоторой долей хемосорбции.

#### Благодарности

Результаты получены с использованием оснащения Центра коллективного пользования научным оборудованием ТГУ имени Г.Р. Державина.

Исследование выполнено в рамках реализации программы развития ТГУ имени Г.Р. Державина «Приоритет-2030».

#### Описание вклада авторов CRediT

Цыганкова Л.Е. – концептуализация, руководство, написание, проверка и редактирование. Брыксина В.А. – исследование, курирование данных. Урядников А.А. – курирование данных, исследование. Канаева Л.А. – исследование, визуализация.

## Литература

- 1 Suraj B, Shitole N, Lonkar SJ (2014) Chem Pharm Res 6:1865-1872.
- 2 Pathak RK, Mishra P (2016) Intern J Sci Res 5(4):671-677.
- 3 Verma C, Chauhan DS, Quraishi MA (2017) J Mater Environ Sci 8(11):4040-4051.
- 4 Berisha A (2022) Electrochem 3(1):28-41. <https://doi.org/10.3390/electrochem3010002>
- 5 Anaee RA, Hameed IR, Hameed MA, Naser SA, Mohammed MK (2019) J Mol Liq 279:594-602. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.169>
- 6 Salah E (2021) Int J Electrochem Sci 16:150-172. <https://doi.org/10.20964/2021.01.27>
- 7 Golestani G, Shahidi M, Ghazanfari D (2014) Appl Surf Sci 308:347-362. <http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.04.172>
- 8 Fouada AS, Shalabi K, E-Hossiany A (2016) J Bio Tribo Corros 2:18-26. <http://doi.org/10.1007/s40735-016-0048-x>
- 9 Abeng FE, Anadebe VC, Idim VD, Edim MM (2020) S Afr J Chem 73:125-130. <https://doi.org/10.17159/0379-4350/2020/v73a18>
- 10 Bryksina VA, Tsygankova LE, Kur'yato NA (2014) Theory and Practice of Corrosion Protection [Praktika protivokorroziionnoj zašity] 29(3):21-31. (In Russian). <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-2>

## Сведения об авторах

1. Цыганкова Людмила Евгеньевна (корреспондентный автор) – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина (Россия, г. Тамбов, e-mail: [vits21@mail.ru](mailto:vits21@mail.ru));
2. Брыксина Виктория Александровна – аспирант кафедры химии Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина (Россия, г. Тамбов, e-mail: [bryksina\\_98@mail.ru](mailto:bryksina_98@mail.ru));
3. Урядников Александр Алексеевич, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина (Россия, г. Тамбов, e-mail: [chemisttambov@mail.ru](mailto:chemisttambov@mail.ru));
4. Канаева Любовь Александровна - аспирант кафедры химии Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина (Россия, г. Тамбов, e-mail: [ljubov-kanaeva@rambler.ru](mailto:ljubov-kanaeva@rambler.ru)).