

УДК 620.197.3

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ИНГИБИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГИДРАЗИДОВ КИСЛОТ ПРИ АНОДНОМ РАСТВОРЕНИИ СТАЛИ В РАСТВОРЕ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

© 2016 г. Л.Д. Попов<sup>1</sup>, С.А. Бородин<sup>1</sup>, И.Н. Щербаков<sup>1</sup>, М.В. Бойко<sup>2</sup>,  
С.Б. Булгаревич<sup>2</sup>, Е.В. Иванникова<sup>1</sup>, С.И. Левченков<sup>3</sup>

**Аннотация.** Изучено поведение гидразидов кислот при анодном растворении стали в солянокислых средах. Оптимальное защитное действие наблюдается для 4-нитробензгидразида и фуран-2-карбоксихидразида при их концентрациях 0,2 мг/см<sup>3</sup>. Графики защитного действия хорошо описываются уравнением изотермы адсорбции Лэнгмюра (коэффициенты корреляции этих зависимостей более 0,99). Оценена энтальпия адсорбции изученных веществ и установлено, что ее величина формально соответствует физической адсорбции молекул на поверхности электродов. Показано, что величина защитного действия при предельной адсорбции вещества у наиболее эффективных ингибиторов практически равна единице. Предложена модель процесса адсорбции гидразидов на поверхности электрода: молекулы гидразидов или их протонированных форм располагаются примерно параллельно поверхности электрода за счет электростатического притяжения между металлическим электродом и парциальными зарядами на атомах нейтральных молекул гидразидов или их протонированных форм по терминальному азоту гидразидной группы. На основании полученных экспериментальных и расчетных данных показано, что протонированные формы гидразидов карбоновых кислот, депротонируясь, вступают во взаимодействие с катионами железа Fe<sup>2+</sup> с образованием полухелатов или хелатов, что и приводит к защитному действию ингибитора. Показано, что наиболее эффективные ингибиторы наименее устойчивы в своих протонированных формах. Обнаружено, что из рассмотренного нами ряда веществ наилучшим защитным действием обладают гидразиды более сильных карбоновых кислот, за исключением тозилгидразида. Несмотря на то что это гидразид самой сильной кислоты, его защитное действие оказалось минимальным из всех рассмотренных в настоящей работе соединений. Скорее всего, это связано с относительно большим молярным объемом молекулы, что затрудняет ее вхождение в двойной электрический слой, и с ее конформационными особенностями.

**Ключевые слова:** гидразиды кислот, ингибирующее действие, механизм защиты металла.

### STUDY OF THE MECHANISM OF INHIBITORY ACTIVITY OF HYDRAZIDES OF ACIDS IN CASE OF ANODIC DISSOLUTION OF STEEL IN HYDROCHLORIC ACID

L.D. Popov<sup>1</sup>, S.A. Borodkin<sup>1</sup>, I.N. Shcherbakov<sup>1</sup>, M.V. Boyko<sup>2</sup>, S.B. Bulgarevich<sup>2</sup>,  
E.V. Ivannikova<sup>1</sup>, S.I. Levchenkov<sup>3</sup>

**Abstract.** We studied the behavior of hydrazides of acids in case of anodic dissolution of steel in hydrochloric acid media. Optimal protective effect was observed for 4-nitrobenzhydrazide and furan-2-carboxyhydrazide when their concentrations were 0.2 mg/cm<sup>3</sup>. Protective action graphics are very well described by using Langmuir adsorption isotherm (correlation coefficients of these dependencies are higher than 0.99). Enthalpy of adsorption of the studied substances was estimated and determined that its value formally corresponded to the

<sup>1</sup> Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 7; e-mail: ldpopov@mail.ru

<sup>2</sup> Ростовский государственный университет путей сообщения (Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2; e-mail: mikle-1@list.ru

<sup>3</sup> Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: physchem@yandex.ru

physical adsorption of molecules on the electrode surface. It is indicated that the value of the protective effect under the conditions of maximum adsorption for the most effective substance is practically equal to one. The model of the hydrazides adsorption on the electrode surfaces is proposed, the essence of which is in the fact that molecules of hydrazides or their protonated forms are arranged approximately in parallel to the surface of the electrode due to the electrostatic attraction between the metal electrode and the partial charges on the terminal nitrogen atoms of the hydrazide group of the neutral molecules of hydrazides or their protonated forms. Based on the obtained experimental and calculated data it has been ascertained that the protonated forms of hydrazides of carbonic acid, after deprotonation, interact with cations of  $\text{Fe}^{2+}$  and form polychelates or chelates, which leads to the protective action of the inhibitor. It is indicated that the most effective inhibitors in their protonated forms are least stable. It has been determined that the hydrazides of stronger carboxylic acids have the best protective activity, with the exception of tosylhydrazide. Despite the fact that among all compounds considered in the present study that was hydrazide of the strongest acid, its protective effect was minimal. Most likely, this fact is due to a relatively large molar volume of the molecule, which makes its occurrence in the electric double layer difficult, and its conformational characteristics.

**Keywords:** acid hydrazides, inhibitory effect, mechanism of protection of a metal.

## ВВЕДЕНИЕ

Коррозия металлов сопровождается практически любой технологический процесс, где используются кислые среды. Так, она наблюдается в металлургии при растворении руд; в машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности при подготовке поверхности изделий перед нанесением покрытий; в энергетике при промывке котлов, теплообменного оборудования и трубопроводов; в химической промышленности при хранении и транспортировке кислот; в нефте- и газодобывающей промышленности [1] и т.д. Во всех этих случаях применение растворов кислот неизбежно наносит вред оборудованию в связи с коррозионным действием на металлические поверхности и детали [2; 3].

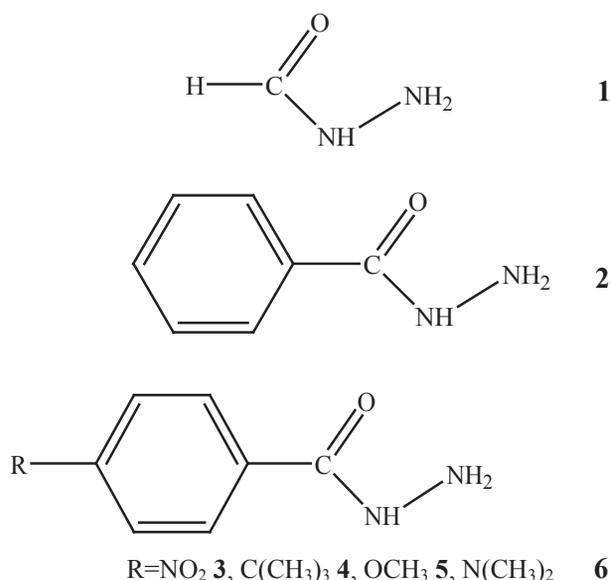
Большое число используемых ингибиторов коррозии обусловлено не только недостаточной универсальностью их защитного действия, но и требованиями технологического, экономического и экологического характера, существенно различающимися в конкретных случаях применения. В связи с этим поиск ингибиторов коррозии стали в кислых средах и изучение механизма их действия продолжает оставаться актуальной задачей [2].

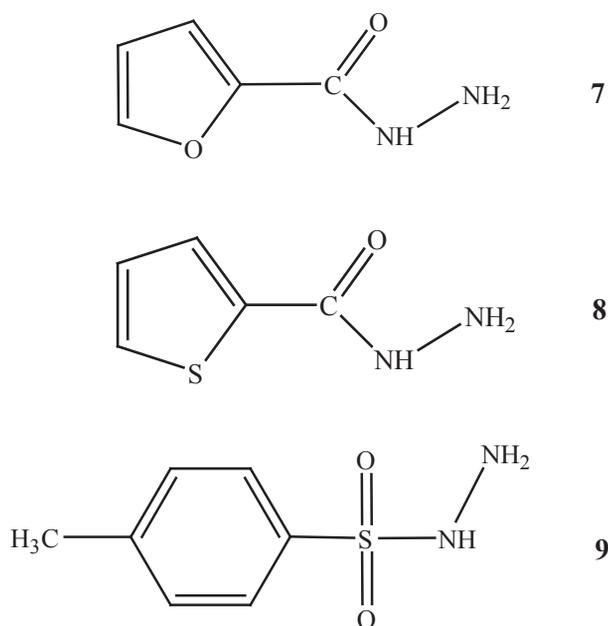
Эффективными ингибиторами коррозии сталей в кислых средах являются гетероароматические соединения, которые за счет своих сопряженных фрагментов и гетероатомов способны адсорбироваться на поверхности металла или его оксидного слоя, если он остается целостным [4]. Наиболее изученными в настоящее время являются азотсодержащие системы – алифатические, ароматические, нафтеновые и гетероциклические амины, амиды, хинолины; кислородсодержащие соединения – предельные спирты и их производные [5]. Известно, что и гидразиды различных органических кислот также проявляют ингибирующие свойства в

кислых средах [2–4; 6]. Гидразиды обладают амбидентной функцией как кислоты и как основания одновременно по терминальному и амидному азотам соответственно. В связи с этим целью настоящей работы было исследование влияния гидразидов некоторых органических кислот на коррозию стали в солянокислой среде.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве потенциальных ингибиторов коррозии стали 45 в водном растворе соляной кислоты мы исследовали следующие соединения: формилгидразид **1**, бензгидразид **2**, 4-нитробензгидразид **3**, 4-третбутилбензгидразид **4**, 4-метоксибензгидразид **5**, 4-диметиламинобензгидразид **6**, фуран-2-карбоксилгидразид **7**, тиофен-2-карбоксилгидразид **8** и тозилгидразид **9**, формулы которых приведены ниже. Использовались реактивы фирмы ALDRICH.





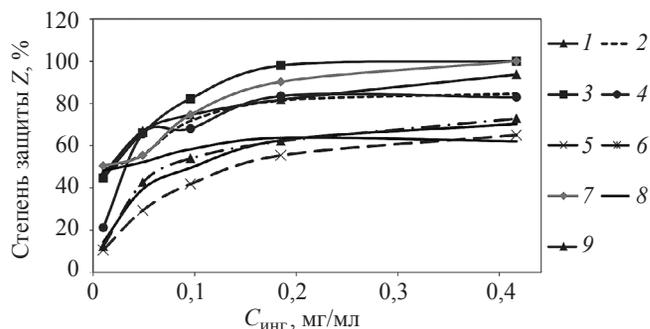
Анодное растворение стали 45 изучали методом поляризационных кривых, которые регистрировали с помощью потенциостата IPC-Comrap при различных концентрациях ингибитора в 1 М водном растворе HCl; концентрации ингибиторов варьировали от 0,01 до 0,50 мг/см<sup>3</sup>. Площадь рабочего электрода составляла 1 см<sup>2</sup>. Его предварительно зачищали наждачной бумагой (марки М5Н-00), обезжировали ацетоном и высушивали фильтровальной бумагой. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод. Начальный потенциал процесса задавали 700 мВ; скорость развертки потенциала 10 мВ/с. Все измерения проводили в термостатируемой электролитической ячейке при температуре 25,0±0,1 °С.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из совокупности поляризационных кривых, полученных для разных концентраций ингибиторов, была рассчитана степень защиты *Z* металла анода [7] (в %) как функция концентрации ингибитора

$$Z = \frac{j_{кор} - j'_{кор}}{j_{кор}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где *j*<sub>кор</sub> и *j'*<sub>кор</sub> – соответственно скорость анодного растворения в исходном и ингибированном растворах при постоянном потенциале, равном -400 мВ. Значения анодных токов при данном потенциале для всех полученных анодных кривых лежат на тафелевских участках, поэтому этот потенциал выбран для сравнения результатов испытаний. Данные о степени защиты в зависимости от концентрации ингибиторов представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Зависимость степени защиты (*Z*) металла от концентрации (*C*) ингибиторов (нумерация кривых соответствует нумерации гидразидов)

**Fig. 1.** Dependence of metal protection (*Z*) on inhibitors' concentration (*C*) (numbering of curves corresponds to the numbers of hydrazides)

Как видно из полученных данных, защитное действие ингибиторов зависит от природы ингибитора и концентрации растворов. Оптимальное защитное действие ингибиторов 3 и 7 (*Z* около 90 %) наблюдается при их концентрациях 0,2 мг/см<sup>3</sup>. Среди рассмотренных нами соединений они являются наиболее эффективными по своим ингибирующим свойствам.

Приведенные графики защитного действия по виду напоминают изотерму адсорбции Лэнгмюра [8]. Полагая, что защитное действие *Z* пропорционально величине адсорбции *A* ингибитора, мы построили изотерму адсорбции Лэнгмюра в линейной форме [8]:

$$\frac{C}{Z} = \frac{1}{Z_{\infty} K} + \frac{1}{Z_{\infty}} C, \quad (2)$$

где *Z* и *Z*<sub>∞</sub> – защитное действие соответственно при данной и предельной адсорбции вещества (выраженные в долях от единицы), *K* – константа равновесия адсорбции.

Были построены линейные зависимости величин *C/Z* от концентрации *C* и методом наименьших квадратов найдены значения *Z*<sub>∞</sub> и *K* (табл. 1). При этом считали, что концентрации приготовленных растворов ингибиторов будут условно равновесными, так как незначительными изменениями концентраций из-за адсорбции веществ на малых поверхностях электродов и стенках ячейки можно пренебречь.

**Таблица 1.** Экспериментальные данные по равновесной адсорбции ингибиторов

**Table 1.** Experimental data for the equilibrium adsorption of inhibitors

| Соединение | <i>Z</i> <sub>∞</sub> | <i>K</i> , дм <sup>3</sup> /моль | $\Delta H^0$ , кДж/моль |
|------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1          | 0,97                  | 85,8                             | -37,3                   |
| 2          | 0,88                  | 41,54                            | -35,5                   |
| 3          | 1,05                  | 26,24                            | -34,3                   |
| 4          | 0,88                  | 19,61                            | -33,6                   |

Окончание таблицы 1

|   |      |       |       |
|---|------|-------|-------|
| 5 | 0,76 | 8,77  | -31,6 |
| 6 | 0,78 | 11,92 | -32,4 |
| 7 | 1,06 | 24,87 | -34,2 |
| 8 | 0,63 | 123,6 | -38,2 |
| 9 | 0,81 | 11,02 | -32,2 |

Коэффициенты корреляции этих зависимостей были не меньше 0,99, что свидетельствует о справедливости применения уравнения (2) адсорбции Лэнгмюра к анализу защитного действия изучаемых ингибиторов. Отметим, что в таблице 1 приведены величины  $Z_{\infty}$ , формально полученные с помощью линейной корреляции. Для соединений 3 и 7 они ненамного превышают единицу в силу статистических погрешностей. Конечно, они не могут превышать единицы, главное, что они близки к единице, что указывает на справедливость модели адсорбции Лэнгмюра. Найденные значения констант  $K$  равновесной адсорбции позволили оценить энтальпию адсорбции  $\Delta H^0$ , которую вычисляли, используя известные термодинамические соотношения между стандартным изменением изобарного потенциала реакции  $\Delta G^0$  и константой равновесия  $K$  реакции [9]:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K, \quad (3)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0. \quad (4)$$

Здесь  $T$  – абсолютная температура в системе,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\Delta S^0$  – изменение стандартной энтропии реакции. Величину  $\Delta S^0$  считали примерно равной мольной энтропии испарения (88 Дж/моль·К), согласно правилу Трутона [9] взятой со знаком минус, при этом предполагая, что разрушение адсорбционного слоя ингибитора и переход его молекул в раствор аналогичен испарению адсорбционного слоя в раствор.

Как видно из полученных данных, величина  $Z_{\infty}$  у наиболее эффективных ингибиторов в пределах статистической погрешности практически равна единице, что и следовало ожидать, так как кроющая способность поверхности электрода ингибитором должна быть максимальной для величины  $Z_{\infty}$ . Этот результат не вполне симбиотен с вычисленными величинами  $\Delta H^0$  адсорбции. Мы полагаем, что это связано с неточностью оценки энтропийного фактора адсорбции, поскольку наряду с величиной  $\Delta S^0_{\text{исп}}$  следовало бы учесть и величину энтропии плавления  $\Delta S^0_{\text{пл}}$  адсорбционного слоя, данными по которой мы не располагали. Несмотря на указанную неточность, найденные величины энтальпии адсорбции имеют разумные значения, они отрицательны и по порядку величины соответствуют физической адсорбции [8].

Адсорбцию гидразидов на поверхности электрода можно рассмотреть в различных вариантах. В одном из простейших можно предположить, что молекулы гидразидов или их протонированных форм располагаются примерно параллельно поверхности электрода за счет электростатического притяжения между металлическим электродом и парциальными зарядами на атомах нейтральных молекул гидразидов или их протонированных форм по терминальному азоту гидразидной группы. Электростатическое притяжение такого вида можно приближенно оценить с помощью теоремы отражения, описывающей энергию взаимодействия заряда и его зеркального образа в металлическом проводнике, взятой с обратным знаком [10]:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q(-q)}{2r} = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r}, \quad (5)$$

где  $U$  – потенциальная энергия взаимодействия заряда среды с поверхностью,  $q$  – величина заряда,  $r$  – расстояние его от поверхности проводника,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

В этом случае потенциальную энергию молекулы над проводником можно выразить формулой (6)

$$U = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon\epsilon_0 r} \sum_{i=1}^N q_i^2, \quad (6)$$

где  $q_i$  – парциальный заряд на  $i$ -м атоме всех  $N$  атомов молекулы или ее протонированной формы.

Поскольку реальные величины  $r$  и  $\epsilon$  для такого взаимодействия неизвестны, то можно ожидать лишь линейной корреляции между логарифмом константы адсорбции ( $\ln K$ ) и суммой парциальных

зарядов  $\sum_{i=1}^N q_i^2$  для протонированной и непротонированной форм гидразидов.

Однако, когда нами были рассчитаны в квантово-химическом приближении AM1 величины  $q_i$ , такой корреляции обнаружено не было. Не наблюдалась она также и для другого простого варианта – электростатического взаимодействия суммарного заряда протонированного терминального азота молекул гидразидов ( $\text{NH}_3^+$ -группа), если бы остальная часть молекул располагалась примерно перпендикулярно поверхности металла, как в лэнгмюровском адсорбционном частотном слое.

Отсюда мы делаем вывод о том, что вхождение молекул гидразидов или их протонированных форм в двойной электрический слой электрода имеет другую природу и антикоррозионное действие также следует описывать по-другому.

Следует отметить, что из рассмотренного нами ряда веществ наилучшим защитным действием обладают гидразиды более сильных карбоновых кислот [11]. Не располагая данными по основности используемых в работе гидразидов, мы вычислили энергию  $\Delta E$  реакции протонирования (гидразид +  $H^+ \rightarrow$  гидразид  $H^+$ ) с помощью квантово-химического расчета в приближении AM1.

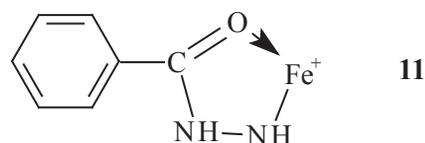
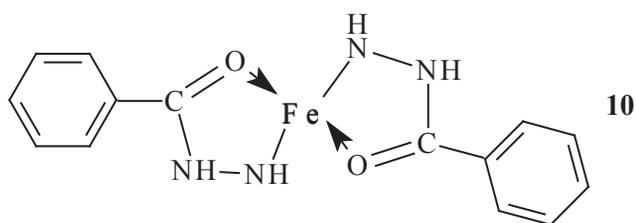
Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют о том, что наиболее эффективные ингибиторы наименее устойчивы в своих протонированных формах.

**Таблица 2.** Оценка энергии реакции протонирования  
**Table 2.** Evaluation of the energy of the protonation reaction

| Соединение | Полная энергия гидразида $E$ , кДж/моль | Энергия протонированной формы гидразида $E$ , кДж/моль |
|------------|---|--|
| 1          | -2870                                   | -2359  |
| 2          | -7933                                   | -7443  |
| 3          | -8666                                   | -8142  |
| 4          | -12633                                  | -12149   |
| 5          | -9500                                   | -9015  |
| 6          | -10905                                  | -10439   |
| 7          | -6382                                   | -5889  |
| 8          | -6315                                   | -5826  |
| 9          | -9063                                   | -8580  |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных экспериментальных и расчетных данных мы полагаем, что протонированные формы гидразидов **1–8** карбоновых кислот, депротонируясь, вступают во взаимодействие с катионами железа  $Fe^{2+}$  поверхности электрода, освобожденной от оксидной пленки кислой средой, или с катионами железа  $Fe^{2+}$  в двойном электрическом слое с образованием хелатов **10** или полухелатов **11**, что и приводит к защитному действию ингибитора. Предполагаемые структуры образуемых координационных соединений приведены ниже.



Возможен и гексакоординированный хелат с октаэдрической структурой координационного узла. Если лиганд обозначить как L, то состав хелата будет  $L_3Fe$ . При этом чем легче депротонируется гидразид, тем легче образуются хелатные формы с катионами железа  $Fe^{2+}$ , что и наблюдается в случае гидразидов **3** и **7**, выступающих в роли ингибиторов коррозии в солянокислой среде. Величина энтальпии адсорбции, оцененная нами экспериментально, по-видимому, является результатом суммы энтальпии депротонирования протонированной формы гидразида (положительный вклад в энтальпию адсорбции) и энтальпии образования координационных связей при хелатировании (отрицательный вклад в энтальпию адсорбции). Суммирование этих двух относительно больших по модулю величин приводит к относительно небольшой по модулю отрицательной величине энтальпии адсорбции  $\Delta H^0$ . При этом говорить о том, как конкретно в адсорбционном слое расположены хелатированные молекулы гидразидов, не представляется возможным. Однако образование хелатных форм  $Fe^{2+}$  на поверхности электрода за счет объемных гидразидных молекул увеличивает толщину двойного электрического слоя и затрудняет прохождение через него катионов железа при электрохимической коррозии.

Особый случай представляет собой молекула тозилгидразида. Несмотря на то что среди всех рассмотренных в настоящей работе соединений это гидразид самой сильной кислоты [10], его защитное действие оказалось минимальным. Скорее всего, это связано с относительно большим молярным объемом молекулы, что затрудняет ее вхождение в двойной электрический слой, и с ее конформационными особенностями. Согласно данным о пространственном строении сульфонов в растворах [12], в фрагменте  $C_6H_5SO_2$  плоскость ароматического кольца расположена перпендикулярно валентному углу  $C-S-C$ . Видимо, также оно расположено и к плоскости валентного угла  $C-S-N$  в гидразидах. Такая конформация по стерическим причинам затрудняет хелатообразование с катионами  $Fe^{2+}$  за счет *орто*-водородных атомов ароматического кольца и таким образом снижает защитное действие данного гидразида.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания на 2016 г. № 007-01114-16 ПР 0256-2014-0009.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов И.А., Савельева Н.Я., Фиговский О.Л. 1987. *Антикоррозионная служба предприятий*. М., Metallurgiya: 240 с.
2. Иванов Е.С. 1986. *Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах*. М., Metallurgiya: 176 с.
3. Quraishi M.A., Ahamad I., Lal B., Singh V. 2009. Aromatic Amines and Hydrazides as Corrosion Inhibitors for Paper-Pulp Industry. *Arabian J. Sci. Eng.* 34(2A): 87–92.
4. Quraishi M.A., Sardar R., Jamal D. 2001. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by some aromatic hydrazides. *Mater. Chem. Phys.* 71(3): 309–313. doi: 10.1016/S0254-0584(01)00295-4
5. Решетников С.М. 1986. *Ингибиторы кислотной коррозии металлов*. Ленинград, Химия: 144 с.
6. Khaled K.F. 2006. Experimental and theoretical study for corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by some new hydrazine carbodithioic acid derivatives. *Appl. Surface Sci.* 252(12): 4120–4128. doi: 10.1016/j.apsusc.2005.06.016.
7. Антропов Л.И. 1975. *Теоретическая электрохимия*. М., Высшая школа: 568 с.
8. Фролов Ю.Г. 1982. *Курс коллоидной химии*. М., Химия: 400 с.
9. Даниэльс Ф., Олберти Р. 1978. *Физическая химия*. М., Мир: 645 с.
10. Калашников С.Г. 1985. *Электричество*. М., Наука: 576 с.
11. *Справочник химика*. 1962. Под ред. Б.П. Никольского. Т. 1. М.; Л., Химия: 1071 с.
12. Бурдастых Т.В. 2008. *Мольные объемы и строение органических, элементоорганических и комплексных соединений в растворах. Автореф. дис. канд. хим. наук*. Ростов н/Д: 23 с.
2. Ivanov E.S. 1986. *Ingibitory korrozii metallov v kislykh sredakh*. [Corrosion inhibitors of metals in acidic media]. Moscow, Metallurgiya Publishers: 176 p. (In Russian).
3. Quraishi M.A., Ahamad I., Lal B., Singh V. 2009. Aromatic Amines and Hydrazides as Corrosion Inhibitors for Paper-Pulp Industry. *Arabian J. Sci. Eng.* 34(2A): 87–92.
4. Quraishi M.A., Sardar R., Jamal D. 2001. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by some aromatic hydrazides. *Mater. Chem. Phys.* 71(3): 309–313. doi: 10.1016/S0254-0584(01)00295-4
5. Reshetnikov S.M. 1986. *Ingibitory kislotnoy korrozii metallov*. [Inhibitors of acid corrosion of metals]. Leningrad, Khimiya Publishers: 144 p. (In Russian).
6. Khaled K.F. 2006. Experimental and theoretical study for corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by some new hydrazine carbodithioic acid derivatives. *Appl. Surface Sci.* 252(12): 4120–4128. doi: 10.1016/j.apsusc.2005.06.016
7. Antropov L.I. 1975. *Teoreticheskaya elektrokimiya*. [Theoretical electrochemistry]. Moscow, Vysshaya Shkola Publishers: 568 p. (In Russian).
8. Frolov Yu.G. 1982. *Kurs kolloidnoy khimii*. [Course of colloid chemistry]. Moscow, Khimiya Publishers: 400 p. (In Russian).
9. Daniels F., Olberty R. 1978. *Fizicheskaya khimiya*. [Physical chemistry]. Moscow, Mir Publishers: 645 p. (In Russian).
10. Kalashnikov S.G. 1985. *Elektrichestvo*. [Electricity]. Moscow, Nauka Publishers: 576 p. (In Russian).
11. *Spravochnik khimika*. [Handbook of a chemist]. 1962. B.P. Nikolskiy (Ed.). Vol. 1. Moscow; Leningrad, Khimiya Publishers: 1071 p. (In Russian).
12. Burdastykh T.V. 2008. *Mol'nye ob'emy i stroenie organicheskikh, elementoorganicheskikh i kompleksnykh soedineniy v rastvorakh. Avtoref. dis. kand. khim. nauk*. [Molar volumes and structure of organic, organometallic and complex compounds in solutions. PhD Thesis Abstract]. Rostov-on-Don: 23 p. (In Russian).

## REFERENCES

1. Stepanov I.A., Savel'yeva N.Ya., Figoivskiy O.L. 1987. *Antikorrozionnaya sluzhba predpriyatij*. [Anti-Corrosion service of companies]. Moscow, Metallurgiya Publishers: 240 p. (In Russian).

Поступила 04.03.2016