

Оригинальная статья / Original article

УДК 620.193.4

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-326-332>



Исследование эффективности ингибиторов коррозии на основе производных изотиурониевых солей

© И.А. Ушаков*, В.С. Никонова*, И.В. Польшинский**,
Л.Г. Князева***, М.М. Польшинская****, Е.А. Анциферов**

*Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН,
г. Иркутск, Российская Федерация

**Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

***Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация

****Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Роль металлов в промышленности крайне важна, их использование постоянно растет. Практически невозможно найти хотя бы одну промышленную область, которая обходилась бы без использования металлов и их сплавов. Но из-за снижения качества металла в процессе эксплуатации возникает коррозия не только на его поверхности, но и под покрытием, что приводит к его разрушению. Чтобы избежать этого, необходимо применять ингибиторы коррозии. Широкое применение в качестве ингибиторов коррозии получили органические соединения. В настоящее время разработано множество органических ингибиторов коррозии. В литературе описаны органические соединения, в состав которых входят гетероатомы N, O, S и P, что снижает скорость коррозии. Органические соединения адсорбируются на поверхности металла, образуя тонкий слой. Адсорбция происходит либо за счет электростатического взаимодействия, либо, в некоторых случаях, за счет образования ковалентных связей. Целью работы являлось исследование изотиурониевых солей в качестве ингибиторов коррозии, оценка их защитных свойств методом поляризационных кривых. Объектами исследований выступили изотиурониевые соединения, содержащие два активных центра, разделенных насыщенными и ненасыщенными углеродными связями (структуры 1–3). В структурах 4–7 один изотиурониевый фрагмент имеет разные пропиленовые заместители. Ранее было показано, что эти соединения могут выступать как эффективные блескообразователи при нанесении никелевых покрытий. Для исследования ингибиторов коррозииготавливали модельный раствор плотностью 1,12 г/см³. Концентрация ингибитора коррозии составляла 400 мг/л. Как показали исследования, соединения, имеющие два изотиурониевых фрагмента, не всегда показывают улучшение свойств для ингибирования разрушения металла в коррозионной среде. В частности, на образцах из стали марки Ст20 они показали ухудшение ингибирующих свойств, на образцах из стали марки Ст3 эти соединения проявляют практически одинаковые свойства.

Ключевые слова: коррозия, ингибитор, изотиурониевые соединения, поляризационные кривые, уравнение Батлера – Фольмера

Для цитирования: Ушаков И.А., Никонова В.С., Польшинский И.В., Князева Л.Г., Польшинская М.М. Анциферов Е.А. Исследование эффективности ингибиторов коррозии на основе производных изотиурониевых солей. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 2. С. 326–332. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-326-332>

Study on efficiency of corrosion inhibitors based on derivatives of isothiuronic salts

Igor A. Ushakov*, Valentina S. Nikonova*, Igor V. Polynskii**,
Larisa G. Knyazeva***, Mariya M. Polynskaya****, Evgeniy A. Antsiferov**

*A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS,
Irkutsk, Russian Federation

**Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation

***All-Russian Scientific Research Institute for the Use of Machinery
and Oil Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation
****Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russian Federation

Abstract: Metals play a pivotal role in industry; their use constantly grows. It is virtually impossible to find an industrial field without the use of metals and their alloys. However, owing to the quality degradation of metal during the operational process, corrosion appears not only on its surface but also under a coating, which leads to its destruction. To avoid this, corrosion inhibitors are necessary. Organic compounds have been widely used as corrosion inhibitors. Many organic corrosion inhibitors have been developed nowadays. In the literature, organic compounds comprising N, O, S and P heteroatoms are described, which reduce corrosion rate. The organic compounds are adsorbed on the metal surface, forming a thin layer. Adsorption occurs either through electrostatic interaction or, in some cases, the formation of covalent bonds. The work aimed to study isothiuronic salts as corrosion inhibitors to evaluate their protective properties using the polarisation curves method. Objects of research were isothiuronic compounds containing two active centres separated by saturated and unsaturated carbon bonds (structures 1–3). In structures 4–7, one isothiuronic fragment has different propylene substituting groups. It has been previously shown that these compounds can act as effective brightening agents when applying nickel coatings. A model solution with a density of 1.12 g/cm³ was prepared to study the corrosion inhibitors. The corrosion inhibitor concentration was 400 mg/L. Studies have shown that the compounds with two isothiuronic moieties do not always exhibit improved properties for inhibiting metal degradation in a corrosive environment. In particular, they showed worsening of the inhibiting properties for samples made of steel 20 and identical properties for that made of steel 3.

Keywords: corrosion, inhibitor, isothiuronic compounds, polarisation curves, Butler – Volmer equation

For citation: Ushakov IA, Nikonova VS, Polynskii IV, Knyazeva LG, Polynskaya MM, Antsiferov EA. Study on efficiency of corrosion inhibitors based on derivatives of isothiuronic salts. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(2): 326–332. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-326-332>

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что коррозия – это самопроизвольное разрушение металла под действием различных факторов окружающей среды (влажность, температура, наличие вредных примесей и др.). Усиление агрессивности среды ввиду увеличения вредных выбросов в атмосферу, сточные воды и пр. приводит к ускорению процессов коррозии, снижению механической прочности изделий и оборудования. Преждевременное ржавление металлоконструкций – это потенциальная возможность возникновения аварий, наносящих огромный экономический ущерб. Поэтому защите металлов от коррозии в последние годы уделяется все больше внимания.

Эффективным методом подавления коррозии металлов является добавление ингибиторов коррозии в коррозионную среду. В настоящее время разработано множество органических ингибиторов коррозии [1], которые содержат функциональные группы с гетероатомами, такими как сера, азот, фосфор, кислород и др. [2]. Считается, что гетероатом, присутствующий в органическом соединении, выступает в качестве фрагмента, взаимодействующего с активным адсорбционным центром на поверхности металла, в результате чего соединение ведет себя как идеальный ингибитор [3]. Азотсодержащие органические соединения являются лучшими ингибиторами коррозии в агрессивной соляной кислоте, тогда как серосодержащие соединения ведут

себя как хорошие ингибиторы в серной кислоте. Соединения, содержащие серу и азот, действуют как отличные ингибиторы коррозии для обеих сред [4]. Тиомочевина (диамидтиоугольной кислоты) и ее производные, содержащие одновременно два атома азота и один атом серы, демонстрируют лучшие ингибирующие свойства, чем чисто аминные ингибиторы в кислой среде [5–7].

Большое количество работ посвящено изучению тиомочевины и ее производных, содержащих полярные функциональные группы [8–10]. Ингибирующее поведение этих соединений обусловлено адсорбцией молекул ингибитора на металлической поверхности за счет координационных связей между атомами серы, азота и поверхностными атомами металла, сила связи которых зависит от электронной плотности и поляризации функциональных групп [11, 12]. Эти полярные фрагменты выступают как активные реакционные центры адсорбции. Было обнаружено, что присутствие атома серы может вызвать большую адсорбцию органического соединения, поскольку атом серы легко протонируется в кислой среде, тем самым являясь лучшим центром адсорбции, чем атом азота или атом кислорода [2].

Недавно синтезированные изотиуруниевые соли, содержащие в качестве заместителя фрагменты с двойной связью [13], представляют в этой связи значительный интерес. Введение в молекулу ингибитора двух изотиуруниевых фрагментов повышает концентрацию гетероато-

мов в одном объекте и, возможно, будет усиливать защитные свойства смолы.

Целью работы являлось исследование изотиуруниевых солей в качестве ингибиторов коррозии и оценка их защитных свойств методом поляризационных кривых.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Измерения и обработку результатов проводили на приборе PGSTAT302N (Metrohm Autolab) в программе NOVA 1.8, которая позволяет выполнить расчеты и построить эквивалентные схемы. Измерение коррозии проводили в подпрограмме измерения линейной поляризации в диапазоне потенциалов от -0,1 до 0,1 В, токов – от 100 до 1 мА в 3-электродной электрохимической ячейке. Рабочий электрод представлял собой металлический стержень с отполированной поверхностью и площадью поперечного сечения 0,75 см². Вспомогательным электродом служила платиновая пластина, а в качестве электрода сравнения был использован хлоридсеребряный электрод. Все измерения проводились при постоянном поддержании температуры в ячейке 25 °С.

Для исследования ингибиторов коррозии модельный раствор плотностью 1,12 г/см³ приготавливали по ГОСТ 9.506-87. Состав раствора, г/л: кальций хлористый 6-водный – 34, магний хлористый 6-водный – 17, натрий хлористый – 163, кальций серноокислый водный – 0,14. Концентрация ингибитора коррозии составляла 400 мг/л [14].

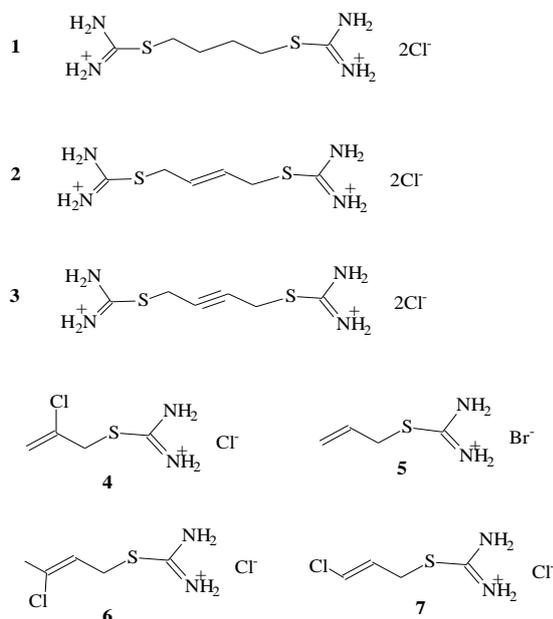


Рис. 1. Структурные формулы ингибиторов 1–7

Fig. 1. Structural formulas of inhibitors 1–7

Объектами исследований выступили изотиуруниевые соли (1–7), содержащие два активных центра (1–3), разделенных насыщенными и не-

насыщенными углеродными связями. В структурах соединений 4–7 один изотиуруниевый фрагмент имеет разные пропиленовые заместители (см. рис. 1). Ранее было показано, что при нанесении медных и никелевых покрытий соединения 4–7 могут выступать как эффективные блескообразователи [15, 16].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ наклона кривой Тафеля, осуществляемый методом поляризационных кривых, обеспечивает оценку поляризационного сопротивления и плотности тока обмена [17–20]. Точное определение этих параметров может быть выполнено путем преобразования уравнения Батлера – Фольмера для диапазона высоких поляризаций к набору экспериментальных данных с учетом того, что ток коррозии связан с поляризационным сопротивлением и наклонами Тафеля:

$$\frac{1}{i_{corr}} = R_p \cdot 2,303 \left(\frac{1}{b_a} + \frac{1}{b_k} \right), \quad (1)$$

где R_p – поляризационное сопротивление; b_a – анодный коэффициент Тафеля; b_k – катодный коэффициент Тафеля.

Выражение (1) можно использовать в сочетании с уравнением Батлера – Фольмера для нелинейного согласования данного равенства с набором данных.

Для высоких катодных или анодных перенапряжений уравнение Батлера – Фольмера может быть сведено к следующим линейным выражениям:

$$E - E_{corr} = \lg i_{corr} + b_a \lg |i|; \quad (2)$$

$$E - E_{corr} = \lg i_{corr} - b_k \lg |i|; \quad (3)$$

где i_{corr} – плотность тока коррозии.

Для исследованных соединений 1–7 на образцах стали марок Ст20 и Ст3 были получены поляризационные кривые (рис. 2). Экспериментальные значения i_{corr} и E_{corr} приведены в таблице. Защитная эффективность ингибиторов на разных сталях отличается друг от друга, например, на стали Ст3 наибольшей эффективностью обладает ингибитор 1, а на стали Ст20 – ингибитор 2. Наклоны Тафеля на анодных кривых близки для разных ингибиторов коррозии на сталях Ст3 и Ст20, следовательно, ионизация железа протекает по одному механизму:

$$Z, \% = 100 \cdot \frac{i_{кон} - i_{инг}}{i_{кон}}, \quad (4)$$

где Z – защитный эффект сопротивления переноса заряда анодной реакции; $i_{кон}$ – плотность тока коррозии контрольного образца; $i_{инг}$ – плотность тока коррозии с добавлением ингибитора.

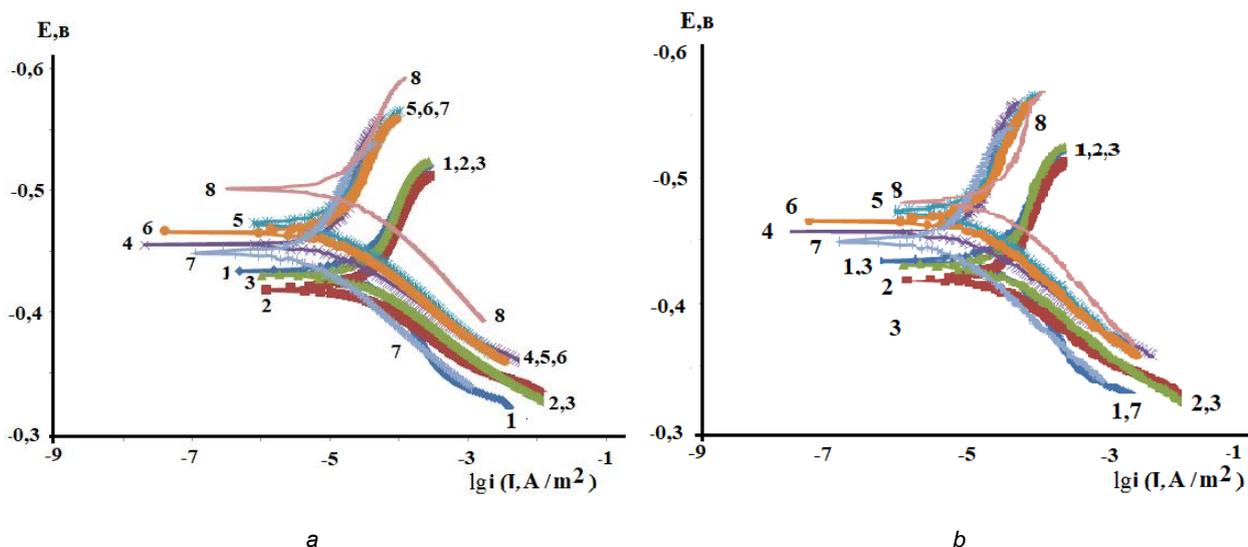


Рис. 2. Поляризационные кривые ингибиторов (1–7) и фон (8) на стали марок Ст3 (а) и Ст20 (b)

Fig. 2. Polarization curves of inhibitors (1–7) and background (8) on steel grades St3 (a) and St20 (b)

Экспериментальные значения тока и потенциала коррозии для ингибиторов 1–7. Время выдержки – 1 ч

Experimental values of current and corrosion potential for inhibitors 1–7. Exposure time – 1 h

Ингибитор	E, V	$i \cdot 10^{-5}, A/m^2$	b_a	b_k	$Z, \%$
Сталь Ст3					
Контроль	-0,484	3,50	0,075	0,157	–
1	-0,400	0,63	0,023	0,032	82
2	-0,420	1,91	0,039	0,042	46
3	-0,415	1,70	0,033	0,070	51
4	-0,420	2,47	0,032	0,046	29
5	-0,442	2,45	0,033	0,036	30
6	-0,465	3,11	0,045	0,098	11
7	-0,415	3,16	0,034	0,068	10
Сталь Ст20					
Контроль	-0,489	1,58	0,038	0,063	–
1	-0,431	2,42	0,046	0,081	c*
2	-0,423	0,17	0,036	0,012	89
3	-0,432	2,82	0,042	0,082	c
4	-0,454	1,21	0,036	0,157	24
5	-0,482	0,85	0,039	0,062	46
6	-0,471	0,76	0,038	0,042	52
7	-0,464	0,38	0,049	0,046	76

*c – стимулирование коррозии.

Наибольший защитный эффект ингибиторов коррозии проявляется на стали Ст3, на стали Ст20 ингибиторы 1 и 3 являются стимуляторами коррозионных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование изотиурониевых солей в качестве ингибиторов коррозии показало, что отдельные представители этих солей обладают защитными свойствами (см. таблицу).

Определено, что все исследованные соединения относятся к классу ингибиторов поверхностно-активного типа, так как тормозят процесс коррозии за счет адсорбции. Благодаря способности блокировать наиболее активные центры

корродирующего металла их можно отнести к ингибиторам блокировочного типа. А по признакам смещения поляризационных кривых их можно отнести к ингибиторам анодного типа.

Как показали исследования, ингибиторы коррозии, имеющие два изотиурониевых фрагмента, не всегда показывают улучшение свойств для ингибирования металла в коррозионной среде. В частности, на образцах стали Ст20 некоторые из них показали ухудшение ингибирующих свойств. На стали Ст3 эти соединения проявляют практически одинаковые свойства (см. таблицу). Различия в поведении ингибиторов связаны с их различным составом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sharma S., Kumar A. Recent advances in metallic corrosion inhibition: A review // *Journal of Molecular Liquids*. 2021. Vol. 322. P. 114862. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114862>
2. Özcan M., Dehri I., Erbil M. Organic sulphur-containing compounds as corrosion inhibitors for mild steel in acidic media: correlation between inhibition efficiency and chemical structure // *Applied Surface Science*. 2004. Vol. 236. Issue 1-4. P. 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.04.017>
3. Musa A.Y., Kadhum A.A.H., Mohamad A.B., Rahoma A.A.B., Mesmari H. Electrochemical and quantum chemical calculations on 4,4-dimethylloxazolidine-2-thione as inhibitor for mild steel corrosion in hydrochloric acid // *Journal of Molecular Structure*. 2010. Vol. 969. Issue 1-3. P. 233–237. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.02.051>
4. Sudheer S., Quraishi M.A. 2-Amino-3,5-dicarbonitrile-6-thio-pyridines: new and effective corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCL // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2014. Vol. 53. Issue 8. P. 2851–2859. <https://doi.org/10.1021/ie401633y>
5. Li X., Deng S., Fu H. Allylthiourea as a corrosion inhibitor for cold rolled steel in H₃PO₄ solution // *Corrosion Science*. 2012. Vol. 55. P. 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.10.025>
6. Quraishi M.A., Ansari F.A., Jamal D. Thiourea derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in formic acid // *Materials Chemistry and Physics*. 2003. Vol. 77. Issue 3. P. 687–690. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00130-X](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00130-X)
7. Fekry A.M., Mohamed R.R. Acetyl thiourea chitosan as an eco-friendly inhibitor for mild steel in sulphuric acid medium // *Electrochimica Acta*. 2010. Vol. 55. Issue 6. P. 1933–1939. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.11.011>
8. Gao Z., Cao X., Liu L., Fang Y., Hu L. Properties of organic/inorganic hybrid coatings formed on X. magnesium alloy surface // *Chinese Journal of Materials Research*. 2017. Vol. 31. Issue 3. P. 211–218. <https://doi.org/10.11901/1005.3093.2016.240>
9. Korkmaz N., Obaidi O.A., Senturk M., Astley D., Ekinici D., Supuran C.T. Synthesis and biological activity of novel thiourea derivatives as carbonic anhydrase inhibitors // *Journal Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. 2015. Vol. 30. Issue 1. P. 75–80. <https://doi.org/10.3109/14756366.2013.879656>
10. El-Faham A., Osman S.M., Al-Lohedan H.A., El-Mahdy G.A. Hydrazino-methoxy-1,3,5-triazine derivatives' excellent corrosion organic inhibitors of steel in acidic chloride solution // *Molecules*. 2016. Vol. 21. Issue 6. P. 714–727. <https://doi.org/10.3390/molecules21060714>
11. Torres V.V., Rayol V.A., Magalhães M., Viana G.M., Aguiar L.C.S., Machado S.P., et al. Study of thioureas derivatives synthesized from a green route as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution // *Corrosion Science*. 2014. Vol. 79. P. 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.10.032>
12. Shahabia S., Norouzi P., Ganjali M.R. Electrochemical and theoretical study of the inhibition effect of two synthesized thiosemicarbazide derivatives on carbon steel corrosion in hydrochloric acid solution // *RSC Advances*. 2015. Vol. 5. Issue 27. P. 20838–20847. <https://doi.org/10.1039/c4ra15808c>
13. Levanova E.P., Grabel'nykh V.A., Vakhri-na V.S., Russavskaya N.V., Albanov A.I., Korchevin N.A., et al. Synthesis of new 2-(alkenyl-sulfanyl)pyrimidine derivatives // *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2014. Vol. 50. Issue 3. P. 429–433. <https://doi.org/10.1134/S1070428014030221>
14. Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е., Габитов А.И., Голубев М.В., Лаптев А.Б., Калимуллин А.А. Ингибиторы коррозии. Т. 1. Основы теории и практики применения. Уфа: Реактив, 1997. 296 с.
15. Березовский В.И., Сосновская Н.Г., Добрынина Н.Н. Применение изотиурониевых солей в качестве блескообразующих добавок при меднении // *Современные технологии и научно-технический прогресс* 2020. Т. 1. N 7. С. 19–20. <https://doi.org/10.36629/2686-9896-2020-1-19-20>
16. Сосновская Н.Г., Истомина Н.В., Синеговская Л.М., Розенцвейг И.Б., Корчевин Н.А. Электроосаждение блестящих никелевых покрытий из сульфатного электролита в присутствии изотиурониевых солей // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2019. Т. 27. N 4. С. 4–11. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2019_27_4_4
17. Алцыбеева А.И., Левин С.З. Ингибиторы коррозии металлов / под ред. проф. Л.И. Антропова. Л.: Химия, 1968. 264 с.
18. Kozaderov O.A., Koroleva O.V., Vvedenskii A.V. Kinetics of phase transformations in a binary alloy surface layer at the selective dissolution. I. Theoretical analysis // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2009. Vol. 45. Issue 1. P. 31–35. <https://doi.org/10.1134/S2070205109010043>
19. Kuznetsov Yu.I., Makarov D.A., Vershok D.B. Accelerator of steel oxidation in ammonium nitrate solutions // *Protection of Metals*. 2004. Vol. 40. Issue 1. P. 3–6. <https://doi.org/10.1023/B:PROM.0000013104.66432.fe>
20. Kharitonov D.S., Kurilo I.I., Zharskii I.M. Effect of sodium vanadate on corrosion of AD31 aluminum alloy in acid media // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2017. Vol. 90. Issue 7. P. 1089–1097. <https://doi.org/10.1134/S1070427217070102>

REFERENCES

1. Sharma S, Kumar A. Recent advances in metallic corrosion inhibition: A review. *Journal of Molecular Liquids*. 2021;322:114862. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114862>
2. Özcan M, Dehri I, Erbil M. Organic sulphur-containing compounds as corrosion inhibitors for

mild steel in acidic media: correlation between inhibition efficiency and chemical structure. *Applied Surface Science*. 2004;236(1-4):155–164. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.04.017>

3. Musa AY, Kadhum AAH, Mohamad AB, Rahoma AAB, Mesmari H. Electrochemical and quantum chemical calculations on 4,4-dimethylloxazolidine-2-thione as inhibitor for mild steel corrosion in hydrochloric acid. *Journal of Molecular Structure*. 2010;969(1-3):233–237. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.02.051>

4. Sudheer S, Quraishi MA. 2-Amino-3,5-dicarbonitrile-6-thio-pyridines: new and effective corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCL. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2014;53(8):2851–2859. <https://doi.org/10.1021/ie401633y>

5. Li X, Deng S, Fu H. Allylthiourea as a corrosion inhibitor for cold rolled steel in H₃PO₄ solution. *Corrosion Science*. 2012;55:280–288. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.10.025>

6. Quraishi MA, Ansari FA, Jamal D. Thiourea derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in formic acid. *Materials Chemistry and Physics*. 2003;77(3):687–690. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00130-X](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00130-X)

7. Fekry AM, Mohamed RR. Acetyl thiourea chitosan as an eco-friendly inhibitor for mild steel in sulphuric acid medium. *Electrochimica Acta*. 2010;55(6):1933–1939. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.11.011>

8. Gao Z, Cao X, Liu L, Fang Y, Hu L. Properties of organic/inorganic hybrid coatings formed on X. magnesium alloy surface. *Chinese Journal of Materials Research*. 2017;31(3):211–218. <https://doi.org/10.11901/1005.3093.2016.240>

9. Korkmaz N, Obaidi OA, Senturk M, Astley D, Ekinci D, Supuran CT. Synthesis and biological activity of novel thiourea derivatives as carbonic anhydrase inhibitors. *Journal Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. 2015;30(1):75–80. <https://doi.org/10.3109/14756366.2013.879656>

10. El-Faham A, Osman SM, Al-Lohedan HA, El-Mahdy GA. Hydrazino-methoxy-1,3,5-triazine derivatives' excellent corrosion organic inhibitors of steel in acidic chloride solution. *Molecules*. 2016;21(6):714–727. <https://doi.org/10.3390/molecules21060714>

11. Torres VV, Rayol VA, Magalhães M, Viana GM, Aguiar LCS, Machado SP, et al. Study of thioureas derivatives synthesized from a green route as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution.

Corrosion Science. 2014;79:108–118. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.10.032>

12. Shahabia S, Norouzi P, Ganjali MR. Electrochemical and theoretical study of the inhibition effect of two synthesized thiosemicarbazide derivatives on carbon steel corrosion in hydrochloric acid solution. *RSC Advances*. 2015;5(27):20838–20847. <https://doi.org/10.1039/c4ra15808c>

13. Levanova EP, Grabel'nykh VA, Vakhrina VS, Russavskaya NV, Albanov AI, Korchevin NA, et al. Synthesis of new 2-(alkenylsulfanyl)pyrimidine derivatives. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2014;50(3):429–433. <https://doi.org/10.1134/S1070428014030221>

14. Rahmankulov DL, Bugaj DE, Gabitov AI, Golubev MV, Laptev AB, Kalimullin AA. *Corrosion inhibitors*. Vol. 1. *Fundamentals of theory and practice of application*. Ufa: Reaktiv; 1997. 296 p. (In Russian)

15. Berezovsky VI, Sosnovskaya NG, Dobrynina NN. Application of isothiuronium salts as luster-forming additives in copper plating. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress*. 2020;1(7):19–20. (In Russian) <https://doi.org/10.36629/2686-9896-2020-1-19-20>

16. Sosnovskaya NG, Istomina NV, Sinegovskaya LM, Rosenzweig IB, Korchevin NA. Electrodeposition of bright nickel coatings from sulfate electrolyte in the presence of isothiuronium salts. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2019;27(4):4–11. (In Russian) https://doi.org/10.47188/0869-5326_2019_27_4_4

17. Altsybeeva AI, Levin SZ. *Metal corrosion inhibitors*. Leningrad: Khimiya; 1968. 264 p. (In Russian)

18. Kozaderov OA, Koroleva OV, Vvedenskii AV. Kinetics of phase transformations in a binary alloy surface layer at the selective dissolution. I. Theoretical analysis. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2009;45(1):31–35. <https://doi.org/10.1134/S2070205109010043>

19. Kuznetsov Yul, Makarov DA, Vershok DB. Accelerator of steel oxidation in ammonium nitrate solutions. *Protection of Metals*. 2004;40(1):3–6. <https://doi.org/10.1023/B:PROM.0000013104.66432.fe>

20. Kharitonov DS, Kurilo II, Zharskii IM. Effect of sodium vanadate on corrosion of AD31 aluminum alloy in acid media. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2017;90(7):1089–1097. <https://doi.org/10.1134/S1070427217070102>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ушаков Игорь Алексеевич,
к.х.н., старший научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
e-mail: ushakov@irioc.irk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor A. Ushakov,
Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, A.E. Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: ushakov@irioc.irk.ru

Никонова Валентина Сергеевна,
к.х.н., научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
e-mail: vahrina@irioch.irk.ru

Valentina S. Nikonova,
Cand. Sci. (Chemistry), Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, A.E. Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: vahrina@irioch.irk.ru

Полинский Игорь Владимирович
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
✉e-mail: polinigor@yandex.ru

Igor V. Polynskii,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical
University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
✉e-mail: polinigor@yandex.ru

Князева Лариса Геннадьевна,
д.х.н., главный научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский
институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,
Российская Федерация,
e-mail: knyazeva27@mail.ru

Larisa G. Knyazeva,
Dr. Sci. (Chemistry), Chief Researcher,
All-Russian Scientific Research Institute
for the Use of Machinery and Oil Products
in Agriculture,
28, Novo-Rubizhny Lane, Tambov, 392022,
Russian Federation,
e-mail: knyazeva27@mail.ru

Полинская Мария Михайловна,
к.э.н., доцент,
Иркутский государственный университет
путей сообщения,
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15,
Российская Федерация,
e-mail: marypo1976@yandex.ru

Mariya M. Polynskaya,
Cand. Sci. (Economy), Associate Professor,
Irkutsk State Transport University,
15, Chernyshevsky St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: marypo1976@yandex.ru

Анциферов Евгений Александрович,
к.х.н., директор Института высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: antsiferov@istu.edu

Evgeniy A. Antsiferov,
Cand. Sci. (Chemistry),
Director of High Technologies Institute,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: antsiferov@istu.edu

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*Поступила в редакцию 09.10.2020.
Одобрена после рецензирования 29.12.2020.
Принята к публикации 31.05.2021.*

*The article was submitted 09.10.2020.
Approved after reviewing 29.12.2020.
Accepted for publication 31.05.2021.*