

УДК 620.197.3

**И.А. Шипигузов, О.В. Колесова, В.В. Вахрушев,
А.Л. Казанцев, В.З. Пойлов**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

С.В. Лановецкий

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Березники, Россия

Л.А. Черезова

«АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»,
Березники, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ

Исследование процессов коррозии и разработка методов защиты металлов относится к актуальным научно-техническим задачам. Одним из распространенных методов защиты является применение ингибиторов, позволяющих снизить скорость коррозии металлов и сплавов, которые контактируют с агрессивной средой в производственных условиях. В настоящее время изучено огромное количество органических и неорганических веществ, которые оказывают влияние на скорость корродирования металлов в кислой среде. Преимущественно находят применение органические ингибиторы, поскольку они способны образовывать защитные пленки на поверхности металлов. К эффективным органическим ингибиторам относятся вещества, содержащие в своем составе атомы азота, серы и кислорода. Однако поиск новых эффективных ингибиторов является актуальной задачей, не теряющей своей значимости в настоящее время. Согласно материалам отечественных патентов для ингибирования кислотной коррозии чаще всего используется уротропин, в то время как иностранные авторы предлагают использовать имидазолин и его производные, получаемые в результате реакции кватернизации.

Параллельно проводятся исследования, направленные на поиск природных или «зеленых» ингибиторов коррозии. Установлено, что для снижения скорости коррозии можно использовать натуральные продукты, растения и их экстракты. Природные вещества достаточно легкодоступны, производятся из возобновляемых источников и, что немаловажно, обладают низкой экологической нагрузкой.

«Зеленые» ингибиторы применяются для защиты от коррозии металлов и сплавов в растворах с относительно низким со-

держанием кислот (1–2 моль/л), в то время как синтетические ингибиторы могут быть использованы в средах с более высокой концентрацией кислот (до 7 моль/л).

Ключевые слова: ингибитор, коррозия, скорость коррозии, эффективность ингибирования, ингибирующая смесь, металлы, сплавы, уротропин, имидазолин, природные ингибиторы, синтетические ингибиторы.

**I.A. Shipiguzov, O.V. Kolesova, V.V. Vakhrushev,
A.L. Kazantsev, V.Z. Pojlov**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

S.V. Lanovetskij

Perm National Research Polytechnic University,
Berezniki, Russian Federation

L.A. Cherezova

«AVISMA» branch of PJSC «VSMPO-AVISMA»,
Berezniki, Russian Federation

MODERN CORROSION INHIBITORS

Study of the corrosion processes and development of metal protection methods are actual scientific and technical problems. Inhibitors using is one of the common methods of metal protection which allow to reduce the rate of metals and alloys corrosion during its contact with the aggressive medium in a working conditions. A huge amount of organic and inorganic substances are studied now and used to reduce metal corrosion rate in acid medium. Organic inhibitors are most widespread because they can form a protective film on the metal surface. Substances which contain nitrogen, sulfur and oxygen atoms are the most effective inhibitors. Search of the new effective inhibitors is an important task which is still actual nowadays.

According to the patent documents, urotropin is the most often used as a inhibitor of acid corrosion in Russia meanwhile imidazoline and its derivatives which produced by quaternization reaction are widely used in foreign papers.

In a parallel where are many research which aimed to find a natural or "green" corrosion inhibitors. It was found that natural products and extracts of plants can be used to reduce the corrosion rate. Natural substances are produced from renewable sources, handy and have low environmental damage. «Green» inhibitors are used for metals and alloys corrosion protection of in solutions with acid concentration in the range between 1-2 mol/l, while synthetic inhibitors can be used in environments with higher concentrations of acids (to 7 mol/l).

Keywords: *inhibitor, corrosion, corrosion rate, the effectiveness of inhibition, inhibitor mixture, metals, alloy, urotropin, imidazoline, natural inhibitors, synthetic inhibitors.*

Одной из важнейших научно-технических проблем является коррозия металлического оборудования и установок, применяемых в технологических процессах, при воздействии на них агрессивных (коррозионно-активных) сред. Острота этой проблемы возрастает ввиду того, что темп роста коррозионных потерь значительно превышает темпы роста производства металлов [1].

Разрушение металлов в результате коррозионных процессов протекает по химическому или электрохимическому механизму [2, 3]. Борьба с коррозией осуществляется различными методами. Наиболее рациональным способом борьбы является изготовление конструкций и аппаратов из коррозионно-стойких материалов, однако они не всегда применимы в силу различных причин. В настоящее время для снижения скорости корродирования металлов и сплавов используют защитные покрытия (металлические и неметаллические), электрохимическую защиту (анодную и катодную) и добавление замедлителей коррозии (ингибиторов) к агрессивным растворам [4–6].

Наиболее популярным решением для снижения скорости коррозии материалов из всех перечисленных выше является использование ингибиторов, поскольку при этом исключаются капитальные затраты на замену оборудования. Следовательно, поиск и подбор наиболее эффективных ингибиторов не теряет актуальности. Требования, предъявляемые к ингибиторам коррозии, заключаются в наличии у них комплекса свойств, позволяющих не только добиваться проявления высокого защитного эффекта, но и в условиях конкретного производства сохранять технологический режим, а также исключить возможность нанесения экологического ущерба [7, 8].

В связи с этим поиск новых и эффективных ингибиторов коррозии является весьма актуальным. Особенно важно это для химических производств, связанных с применением или получением агрессивных жидких сред, которые обладают высокой коррозионной активностью. К таким электролитам относятся растворы неорганических кислот (например, серной, соляной, ортофосфорной) и некоторые солевые растворы.

Хорошо известно, что в качестве эффективных ингибиторов коррозии в серной кислоте могут применяться органические соединения,

содержащие гетероатомы [9]. В зарубежных работах, опубликованных в 1990–2000-х гг. Ф. Тоухами, А. Анти и Б. Хаммути [10–12], в качестве ингибитора коррозии рассмотрена возможность использования пиразола. Для снижения скорости коррозии металлов в кислых средах Ф. Бентис и С. Кертит [13, 14] предложили применять триазол и тетразол. В работах А. Дафали и Б. Хаммути для защиты металлических покрытий рекомендуется использовать имидазол [15, 16], а Ф. Бентис с соавторами предлагают решать проблему корроирования при помощи производных оксадиазола [17].

Достаточно большой объем научно-технической информации по новым составам ингибиторов и способам защиты металлов и сплавов от кислотной коррозии содержится в патентных базах. В представленной работе приведен аналитический обзор эффективных ингибиторов кислотной коррозии, выполненный по материалам патентных документов Федерального института промышленной собственности (<http://www1.fips.ru>) и данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (<http://www.wipo.int>). Глубина проанализированных источников – 20 лет, таким образом охвачен период с 1995 по 2015 г.

В процессе анализа российских патентных документов установлено, что в достаточно большом количестве отечественных работ упоминается такой ингибирующий компонент, как уротропин (рис. 1).

Так, например, авторами в работе [18] представлено изобретение, которое может использоваться при травлении стали, никеля и кобальта, а также для кислотных очисток оборудования и промывок скважин. Ингибитор содержит в своем составе (мас. %):

n-нитробензаль-*o*-аминофенол 9,2–12,9; 2-этиламино-4-окси-5-бутил-6-метилпиридин 22,7–27,0; 1,1'-диметил-4,4'-дипиридилийдихлорид 14,1–19,6; уротропин 40,5–54,0. Техническим результатом использования указанной ингибирующей смеси является повышение эффективности ингибитора для защиты от коррозии стали, никеля и кобальта.

В работе [19] высокая эффективность снижения скорости коррозии стали, алюминия и титана в серной, соляной и ортофосфорной кислотах достигается за счет смешения таких веществ (массовое содержание, %), как *m*-нитробензаль-*n*-иоданилин (14,8–17,9); 4,5-дихлор-2-трифторметилбензимидазол (33,3–23,9) и уротропин (51,9–58,2).

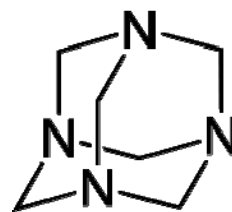


Рис. 1. Молекула уротропина

В свою очередь анализ иностранных патентных документов показал, что уротропин упоминается довольно редко в составе ингибирующих смесей, а если используется, то не является основным компонентом [20, 21]. Во многих работах достаточно часто для снижения скорости коррозии металлов используют органические соединения с аминной функциональной группой. В частности, группой исследователей [22] предложено использовать смесь олигомеризованных ароматических аминов, а также органические амины (разветвленные, неразветвленные и циклические) с различным количеством атомов углерода в цепи [23–26].

В работах [27, 28] упоминается о применении в качестве ингибитора имидазолина (рис. 2) и его производных.

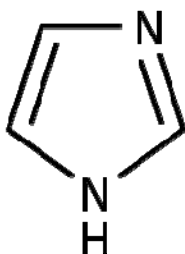


Рис. 2. Молекула имидазолина

Сотрудники университета Чанчжоу предложили новый полимерный ингибитор коррозии на основе имидазолина и способ его получения [29], который состоит из стадий аминирования дикарбоновой кислоты диэтилентриамином или гидроксипропилендиамином с образованием кольца имидазолина и полимеризации с получением конечного продукта. Молекулярная структура конечного продукта содержит большое количество колец имидазола с большим количеством металлических адсорбционных центров, имеет высокую молекулярную массу и хорошо растворяется в воде. Ингибитор коррозии обладает хорошим антикоррозийным эффектом для металлов и имеет большое социальное и экономическое значение при внедрении.

Способ получения производных имидазолина путем реакции алкилирования (кватернизации) имидазолина в присутствии различных кватернизирующих агентов достаточно подробно описан в работах [30, 31].

Известно, что эффективность большинства ингибирующих веществ обусловлена их адсорбционными свойствами. В работе [32] показано, что адсорбция органических ингибиторов в основном зависит от некоторых физико-химических свойств молекул среды, связанных с молекулами ингибиторов функциональными группами, стерическим эффектом и электронной плотностью донорных атомов. Адсорбция может зависеть от взаимодействия π -орбиталей ингибитора с d -орбиталями атомов металлов на поверхности, что приводит к образованию пленки, защищающей от коррозии.

Параллельно с совершенствованием синтетических ингибиторов ведется активный поиск природных ингибиторов коррозии, так называемых «зеленых» ингибиторов.

Использование природных ингибиторов для снижения скорости коррозии в растворах серной кислоты было исследовано еще в 1930 г. [33]. В дальнейшем эти исследования активно продолжились, в результате было установлено, что «зелеными» ингибиторами кислотной коррозии является большое количество растений. В качестве ингибиторов возможно применение натуральных продуктов, растений и их экстрактов. Так, для снижения скорости кислотной коррозии используют экстракт опунции, листья алоэ вера, кожуру апельсина или авокадо, табак, черный перец, семена клещевины, аравийскую камедь, лигнин, кориандр, гибискус, анис, черный тмин, мед, лук, чеснок, горькую тыкву и др. В табл. 1 представлены натуральные продукты, которые были изучены в качестве ингибирующих добавок для защиты определенных металлов и сплавов. В табл. 2 указаны экстракты растений, а также металлы и сплавы, скорость коррозии которых можно уменьшить за счет использования данных экстрактов.

Таблица 1

Натуральные продукты и полимеры, используемые
в качестве ингибиторов

№ п/п	Продукт	Защищаемый металл или сплав
1	Кофеин	Углеродистая сталь, медь
2	Пурин и аденин	Медь
3	Витамин В ₁	Хромомолибденовая сталь, медь, никель
4	Витамин В ₆	Никель
5	Витамин В ₉	Ингибитор образования накипи
6	Витамин С	Сталь, никель
7	Лимонная кислота	Алюминий
8	Бензойная кислота	Железо, алюминий
9	Пептин	Алюминий
10	Лигнин	Алюминий
11	Крахмал маниоки	Алюминий
12	Каррагинан	Алюминий
13	Хитозан	Сталь

Таблица 2

Экстракты природных продуктов, используемых
в качестве ингибиторов

№ п/п	Источник натурального продукта	Защищаемый металл или сплав
1	Экстракт мексиканского чая, экстракт листьев османтуса душистого, водный экстракт китайского гибискуса, водный экстракт куркумы длинной, водный экстракт ларреи трехзубчатой	Углеродистая сталь
2	Спиртовой экстракт семян гарцинии, экстракт цветов банана заостренного, экстракт растения мексиканской аргемоны, водный экстракт лаванды зубчатой, экстракты мелегетского перца, экстракты коры и листьев кадамбы, экстракт листьев мурайи Кенига, берберин из китайского лимонника, экстракт розеллы, экстракт листьев моринды цитрусолистной	Малоуглеродистая сталь
3	Экстракт растений конопли	Медь
4	Масло полыни	Сталь
5	Танин мангрового дерева, вернония, сок фруктов финика пальчатого, водный экстракт чеснока, прозопис, опунция индийская, экстракт табака	Алюминий
6	Луковый сок	Цинк
7	Экстракт граната обыкновенного	Латунь
8	Лаванда стэхадская	Нержавеющая сталь

Во многих работах отмечается, что применение данного типа «зеленых» ингибиторов позволяет исключить или значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду [34, 35].

Таким образом, в ходе выполненного аналитического обзора установлено, что в качестве ингибиторов коррозии в кислых средах могут использоваться как синтетические вещества, так и вещества природного происхождения. Чаще всего природные вещества используются для ингибирования коррозии металлов и сплавов в растворах с низким содержанием кислот (1–2 моль/л), в то время как синтетические ингибиторы применяются в достаточно широком диапазоне концентраций электролитов (от 1 до 7 моль/л), что обусловило их массовое распространение в отечественной и зарубежной химической промышленности.

Список литературы

1. Коррозия и защита металлов. – Ч. 1. Химическая коррозия металлов: учеб. пособие / Н.А. Азаренков, С.В. Литовченко, И.М. Неклюдов, П.И. Стоев. – Харьков, 2007. – 187 с.
2. Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии: учеб. для машиностр. техникумов. – М.: Высшая школа, 1978. – 192 с.
3. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. – М.: Metallurgia, 1969. – 448 с.
4. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионно-стойкие сплавы. – М.: Metallurgia, 1973. – 232 с.
5. Андреев И.Н. Введение в коррозиологию: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. технолог. ун-та, 2004. – 140 с.
6. Лайнер В.И. Защитные покрытия металлов. – М.: Metallurgia, 1974. – 559 с.
7. Ингибиторы коррозии: в 2 т. – Т. 2. Диагностика и защита от коррозии под напряжением нефтегазопромыслового оборудования / под ред. Д.Е. Бугай и Д.Л. Рахманкулова. – М.: Химия, 2002. – 367 с.
8. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. – 144 с.
9. Thiophene derivatives as effective inhibitors for the corrosion of steel in 0.5M H₂SO₄ / M. Bouklah, B. Hammouti, A. Aouniti, T. Benhadda // Progress in organic coatings. – 2004. – Vol. 49, no. 3. – P. 225–228.
10. Corrosion Inhibition of Armco iron in HCl media by new bipyrazolic derivatives / F. Touhami, A. Aouniti, S. Kertit, Y. Abed, B. Hammouti, A. Ramdani, K. El-Kacemi // Corrosion science. – 2000. – Vol. 42, no. 6. – P. 929–940.
11. The inhibitive effect of some pyridines towards the corrosion of iron in hydrochloric acid solution / A. Aouniti, B. Hammouti, S. Kertit, M. Brighli // Bulletin of electrochemistry. – 1998. – Vol. 14, no. 6. – P. 193–198.
12. New pyrazole derivatives as effective Inhibitors for the corrosion of mild steel in HCl medium / M. Elouafi, B. Hammouti, H. Oudda, S. Kertit, R. Touzani, A. Ramdani // Anti-corrosion methods and materials. – 2002. – Vol. 49, no. 3. – P. 199–204.
13. Electrochemical and quantum chemical studies of 3,5-di(n-tolyl)-4-amino-1,2,4-triazole adsorption on mild steel in acidic media / F. Bentiss, M. Lagrene'e, B. Mehdi, B. Mernari, M. Traisnel, H. Vezin // Corrosion science. – 2002. – Vol. 58, no. 58. – P. 399–407.

14. 1-Phenyl-5-mercapto-1,2,3,4-tetrazole (PMT) as corrosion inhibitor for nickel in sulphuric acid solution / H. Essouffi, S. Kertit, B. Hammouti, M. Benkaddour // *Bulletin of electrochemistry*. – 2000. – Vol. 16, no. 5. – P. 205–208.

15. 2-mercapto-1-methylimidazole as corrosion Inhibitor of copper in aerated 3% NaCl solution / A. Dafali, B. Hammouti, A. Aouniti, R. Mokhlisse, S. Kertit, K. El-kacemi // *Annales de chimie science des matériaux*. – 2000. – Vol. 25, no. 3. – P. 437–446.

16. Imidazole derivatives as corrosion Inhibitors of copper in aerated 3% NaCl solutions / A. Dafali, B. Hammouti, S. Kertit // *Journal of the electrochemical society of India*. – 2001. – Vol. 50, no. 2. – P. 62–67.

17. Linear resistance model of the inhibition mechanism of steel in HCl by triazole and oxadiazole derivatives: structure–activity correlations / F. Bentiss, M. Traisnel, H. Vezin, M. Lagrene'e // *Corrosion science*. – 2003. – Vol. 45, no. 2. – P. 371–380.

18. Пат. 2487193 РФ, МПК С23F11/04. Ингибитор коррозии металлов в серной и соляной кислотах / Кравцов Е.Е., Вострикова Д.А., Исмаилова Ф.Г., Гибадуллин Р.Ф., Китаева Э.Б., Сычев М.А., Калиев С.Г., Огородникова Н.П., Старкова Н.Н., Кондратенко Т.С.; патентообладатели: ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Кравцов Е.Е., Вострикова Д.А. – № 2011151252/02; заявл. 14.12.2011; опубл. 10.07.2013.

19. Пат. 2324766 РФ, МПК С23F11/04. Ингибитор коррозии металлов в серной, соляной и ортофосфорной кислотах / Кравцов Е.Е., Баламедова У.А., Сидорова А.С., Идиатулин Р.А., Петровский А.В., Старкова Н.Н., Огородникова Н.П., Кондратенко Т.С.; патентообладатель: ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет». – № 2005123786/02; заявл. 26.07.2005; опубл. 20.05.2008.

20. Patent CN 104451697, IPC C23F11/02; C23F11/04. Low-temperature corrosion inhibitor and preparation method thereof / Assignee: China Nat Offshore Oil Corp, Cnooc Tianjin Chem Res & Des, Cnooc Energy Tech & Serv Ltd; inventors: Wang Song, Huang Zhankai, Ding Qiuwei, Li Geng. – Appl. No. CN 20141602306; Publication date: 25.03.2015.

21. Patent CN 1715450, IPC C23F11/04; C23F11/16; C23G1/06. Acid corrosion inhibitor / Assignee: Wansen Water Treat Co Ltd.; inventors: Shen Zhichang. – Appl. No. CN 2004125576; Publication date: 04.01.2006.

22. Patent US 6056896, IPC C09K8/54; C09K8/74; C23F11/04. Metal corrosion inhibitor for use in aqueous acid solutions / Assignee: Halliburton Energy Services, Inc.; inventors: Michael Brezinski. – Appl. No. 09/087112; Publication date: 13.05.1997.

23. Patent JP 2005126801, IPC C11D7/08; C11D7/26; C11D7/32; C11D7/60; C23F11/04; C23G1/06. Inhibitor For Metal Corrosion And Pickling Liquid For Metal / Assignee: Sugimura Kagaku Kogyo Kk; Inventors: Kume Tatsuyuki, Asami Etsuo. – Appl. No. JP 20031027; Publication date: 19.05.2005.

24. Patent CN 102766872, IPC C23F11/04. Compound corrosion inhibitor, and application thereof / Assignee: Yantai Tayho Advanced Materials CO LTD; inventors: Shuangcheng Wang; Dianfei Gao, Wanquan Song, Guoyong Zhou. – Appl. No. CN 20121261866; Publication date: 07.11.2012.

25. Patent JP 2001316857, IPC C07C323/40; C07C323/41; C07C323/42; C23F11/00; C23F11/16. Corrosion Metal Corrosion Inhibitor / Assignee: Nippon Catalytic Chem Ind.; inventors: Oda Yoshihisa. – Appl. No. JP 20000428; Publication date: 16.11.2001.

26. Patent JP 2000096049, IPC C07C323/40; C07C323/41; C07C323/42; C23F11/00; C23F11/16. Corrosion Inhibitor For Acid Cleaning Of Metal, Cleaning Liquid Composition Containing The Same, And Cleaning Of Metal By Using The Same / Assignee: Asahi Kagaku Kogyo Co Ltd.; inventors: Sasaki Hiroshi; Okahara Haruo. – Appl. No. JP 19980918; Publication date: 04.04.2000.

27. Patent US 6303079, IPC C07D233/18; C09K8/54; C23F11/14. Corrosion inhibitor compositions / Assignee: Nalco Exxon Energy Chemicals, L.P.; inventors: George Richard Meyer. – Appl. No. 09/268381; Publication date: 15.03.1999.

28. Patent CN 104762624, IPC C23F11/04. High-temperature corrosion inhibitor for atmospheric and vacuum distillation unit / Assignee: Yixing Zhongdakai Chemical Co Ltd; inventors: Hu Bing. – Appl. No. CN 20151164877; Publication date: 07.08.2015.

29. Patent CN 104762625, IPC C23F11/04. Polymeric imidazoline corrosion inhibitor and preparation method thereof / Assignee: Univ Changzhou; inventors: Lin Furong, Cui Cunfeng; Kong Yong. – Appl. No. CN 20151170598; Publication date: 07.08.2015.

30. Patent CN 104788379, IPC C07D233/16; C08G83/00; C09K8/54; C09K8/74; C23F11/04. Preparation method for arborescent imidazoline corrosion inhibitor / Assignee: Chengdu Shida Lidun Technology Co Ltd; inventors: He Yi, He Ze, Chen Li, Guo Rui, Ma Lan. – Appl. No. CN 20151173482; Publication date: 22.07.2015.

31. Patent JP 3207183, IPC C23F11/04; C23F11/14; C23G1/04; C23G1/06. Corrosion inhibitor for acid washing of metal, washing solution composition containing same and method for washing metal using same / Assignee: Asahi Kagaku Kogyo Co Ltd; inventors: Sasaki Hiroshi; Okahara Haruo; Fujiwara Kazuyuki; Fujiwara Kazuyuki. – Appl. No. JP 19990705; Publication date: 04.04.2000.

32. Thermodynamic properties of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-oxadiazole as a corrosion inhibitor for mild steel in normal sulfuric acid medium / M. Bouklah, B. Hammouti, M. Lagrenere, F. Bentiss // Corrosion science. – 2006. – Vol. 48, no. 9. – P. 2831–2842.

33. Pandian Bothi Raja, Mathur Gopalakrishnan Sethuraman. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media – A review // Materials Letters. – 2008. – Vol. 62, no. 1. – P. 113–116.

34. Patent US 9012376, IPC C23F11/04; E21B37/06. Inulin as corrosion inhibitor / Applicants and inventors: Yogesh Kumar Choudhary; Anupom Sabhapondit; Deepak Ranganathan. – Appl. No. 13/047529; Publication date: 20.09.2012.

35. Patent US 2014119984, IPC C23F11/00, C23F11/04. Withanolide corrosion inhibitor for carbon steel / Applicants: Halliburton energy services inc.; inventors: Belakshe Ravikant, Salgaonkar Lalit Pandurang, Danait Achala. – Appl. No.2013/060058; Publication date: 08.05.2014.

References

1. Azarenkov N.A., Litovchenko S.V., Neklyudov I.M., Stoev P.I. Korroziya i zashchita metallov. Chast 1. Khimicheskaya korroziya metallov [Corrosion and protection of metals. Part 1. Chemical corrosion of metals]. Kharkov, 2007. 187 p.

2. Malakhov A.I., Zhukov A.P. Osnovy metallovedeniya i teorii korrozii [Fundamentals of metallurgy and corrosion theory]. Moscow: Vysshaya shkola, 1978. 192 p.

3. Rozenfeld I.L. Korroziya i zashchita metallov [Corrosion and protection of metals]. Moscow: Metallurgiya, 1969. 448 p.

4. Tomashov N.D., Chernova G.P. Teoriya korrozii i korroziionnostoykie splavy [Corrosion theory and corrosion-resistant alloys]. Moscow: Metallurgiya, 1973. 232 p.
5. Andreev I.N. Vvedenie v korroziologiyu [Introduction to korroziologiya]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2004. 140 p.
6. Layner V.I. Zashchitnye pokrytiya metallov [Protective coatings of metals]. Moscow: Metallurgiya, 1974. 559 p.
7. Ingibitory korrozii. Diagnostika i zashchita ot korrozii pod napryazheniem neftegazopromyslovogo oborudovaniya [Corrosion Inhibitors. Vol. 2. Diagnostics and protection from stress corrosion of oilfield equipment]. Ed. by D.E. Bugaj i D.L. Rakhmankulova. Moscow: Khimiya, 2002. 367 p.
8. Reshetnikov S.M. Ingibitory kislotnoj korrozii metallov [Acidic metal corrosion inhibitors]. Leningrad: Khimiya, 1986. 144 p.
9. Bouklah M., Hammouti B., Aouniti A., Benhadda T. Thiophene derivatives as effective inhibitors for the corrosion of steel in 0.5M H₂SO₄. *Progress in organic coatings*, 2004, vol. 49, no. 3, pp. 225–228.
10. Touhami F., Aouniti A., Kertit S., Abed Y., Hammouti B., Ramdani A., El-Kacemi K. Corrosion Inhibition of Armco iron in HCl media by new bipyrazolic derivatives. *Corrosion science*, 2000, vol. 42, no. 6, pp. 929–940.
11. Aouniti A., Hammouti B., Kertit S., Brighli M. The inhibitive effect of some pyridines towards the corrosion of iron in hydrochloric acid solution. *Bulletin of electrochemistry*, 1998, vol. 14, no. 6, pp. 193–198.
12. Elouafi M., Hammouti B., Oudda H., Kertit S., Touzani R., Ramdani A. New pyrazole derivatives as effective Inhibitors for the corrosion of mild steel in HCl medium. *Anti-corrosion methods and materials*, 2002, vol. 49, no.3, pp. 199–204.
13. Bentiss F., Lagrene'e M., Mehdi B., Mernari B., Traisnel M., Vezin H. Electrochemical and quantum chemical studies of 3,5-di(n-tolyl)-4-amino-1,2,4-triazole adsorption on mild steel in acidic media. *Corrosion science*, 2002, vol. 58, no. 58, pp. 399–407.
14. Essouffi H., Kertit S., Hammouti B., Benkaddour M. 1-Phenyl-5-mercapto-1,2,3,4-tetrazole (PMT) as corrosion inhibitor for nickel in sulphuric acid solution. *Bulletin of electrochemistry*, 2000, vol. 16, no. 5, pp. 205–208.
15. Dafali A., Hammouti B., Aouniti A., Mokhlisse R., Kertit S., El-Kacemi K. 2-mercapto-1-methylimidazole as corrosion Inhibitor of copper in aerated 3% NaCl solution. *Annales de chimie science des matériaux*, 2000, vol. 25, no. 3, pp. 437–446.

16. Dafali A., Hammouti B., Kertit S. Imidazole derivatives as corrosion Inhibitors of copper in aerated 3% NaCl solutions. *Journal of the electrochemical society of India*, 2001, vol. 50, no. 2, pp. 62–67.

17. Bentiss F., Traisnel M., Vezin H., Lagrené'e M. Linear resistance model of the inhibition mechanism of steel in HCl by triazole and oxadiazole derivatives: structure–activity correlations. *Corrosion science*, 2003, vol. 45, no. 2, pp. 371–380.

18. Kravtsov E.E., Vostrikova D.A., Ismailova F.G., Gibadullin R.F., Kitaeva E.B., Sychev M.A., Kaliev S.G., Ogorodnikova N.P., Starkova N.N., Kondratenko T.S. Ingibitor korrozii metallov v sernoj i solyanoj kislotakh [An inhibitor of metal corrosion in sulfuric and hydrochloric acids]. Patent 2487193 RF, MPK C23F11/04. 10.07.2013.

19. Kravtsov E.E., Balamedova U.A., Sidorova A.S., Idiatulin R.A., Petrovskiy A.V., Starkova N.N., Ogorodnikova N.P., Kondratenko T.S. Ingibitor korrozii metallov v sernoj, solyanoj i ortofosfornoj kislotakh [An inhibitor of metal corrosion in sulfuric, hydrochloric and phosphoric acids]. Patent 2324766 RF, MPK C23F11/04. 20.05.2008.

20. Wang Song, Huang Zhankai, Ding Qiuwei, Li Geng. Low-temperature corrosion inhibitor and preparation method thereof. Patent CN 104451697. Publication date: 25.03.2015.

21. Shen Zhichang. Acid corrosion inhibitor. Patent CN 1715450. Publication date: 04.01.2006.

22. Michael Brezinski. Metal corrosion inhibitor for use in aqueous acid solutions. Patent US 6056896. Publication date: 13.05.1997.

23. Kume Tatsuyuki, Asami Etsuo. Inhibitor For Metal Corrosion And Pickling Liquid For Metal. Patent JP 2005126801. Publication date: 19.05.2005.

24. Shuangcheng Wang; Dianfei Gao, Wanquan Song, Guoyong Zhou. Compound corrosion inhibitor, and application thereof. Patent CN 102766872. Publication date: 07.11.2012.

25. Oda Yoshihisa. Corrosion Metal Corrosion Inhibitor. Patent JP 2001316857. Publication date: 16.11.2001.

26. Sasaki Hiroshi; Okahara Haruo. Corrosion Inhibitor For Acid Cleaning Of Metal, Cleaning Liquid Composition Containing The Same, And Cleaning Of Metal By Using The Same. Patent JP 2000096049. Publication date: 04.04.2000.

27. George Richard Meyer. Corrosion inhibitor compositions. Patent US 6303079. Publication date: 15.03.1999.

28. Hu Bing. High-temperature corrosion inhibitor for atmospheric and vacuum distillation unit. Patent CN 104762624. Publication date: 07.08.2015.

29. Lin Furong, Cui Cunfeng; Kong Yong. Polymeric imidazoline corrosion inhibitor and preparation method thereof. Patent CN 104762625. Publication date: 07.08.2015.

30. He Yi, He Ze, Chen Li, Guo Rui, Ma Lan. Preparation method for arborescent imidazoline corrosion inhibitor. Patent CN 104788379. Publication date: 22.07.2015.

31. Sasaki Hiroshi; Okahara Haruo; Fujiwara Kazuyuki; Fujiwara Kazuyuki. Corrosion inhibitor for acid washing of metal, washing solution composition containing same and method for washing metal using same. Patent JP 3207183. Publication date: 04.04.2000.

32. Bouklah M., Hammouti B., Lagrenere M., Bentiss F. Thermodynamic properties of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-oxadiazole as a corrosion inhibitor for mild steel in normal sulfuric acid medium. *Corrosion science*, 2006, vol. 48, no. 9, pp. 2831–2842.

33. Pandian Bothi Raja, Mathur Gopalakrishnan Sethuraman. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media – A review. *Materials Letters*, 2008, vol. 62, no. 1, pp. 113–116.

34. Yogesh Kumar Choudhary; Anupom Sabhapondit; Deepak Ranganathan. Inulin as corrosion inhibitor. Patent US 9012376. Publication date 20.09.2012.

35. Belakshe Ravikant, Salgaonkar Lalit Pandurang, Danait Achala. Withanolide corrosion inhibitor for carbon steel. Patent US 2014119984. Publication date 08.05.2014.

Получено 14.03.2016

Об авторах

Шипигузов Иван Александрович (Пермь, Россия) – магистр кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: alerell@ya.ru).

Колесова Ольга Владиславовна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: goldacox@mail.ru).

Вахрушев Вячеслав Валерьевич (Пермь, Россия) – инженер-исследователь кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vahvv@rambler.ru).

Казанцев Александр Леонидович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: itilamid@rambler.ru).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Лановецкий Сергей Викторович (Березники, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии и экологии Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета (618404, г. Березники, ул. Тельмана, 7; e-mail: slanovetskiy@bf.pstu.ru)

Черезова Любовь Анатольевна (Березники, Россия) – начальник лаборатории комплексной переработки сырья и промпродуктов цеха №39 «АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (618426, г. Березники, ул. Загородная, 29; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru)

About the authors

Ivan A. Shipiguzov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: alerell@ya.ru).

Olga V. Kolesova (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: goldacox@mail.ru).

Vyacheslav V. Vakhrushev (Perm, Russian Federation) – Research engineer of department of chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: vahvv@rambler.ru).

Alexander L. Kazantsev (Perm, Russian Federation) – Senior lecturer of Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: itilamid@rambler.ru).

Vladimir Z. Pojlov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical sciences, Professor, Head of Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Sergej V. Lanovetskij (Berezniki, Russian Federation) – Doctor of Technical sciences, Professor, Department of chemical engineering and environment Perm National Research Politechnic University, Berezniki branch (7, Telmana str., Berezniki, 618404, Russian Federation; e-mail: lsv98@mail.ru).

Liubov A. Cherezova (Berezniki, Russian Federation) – Head of Laboratory of complex processing of raw materials and industrial products shop № 39 «AVISMA» branch of PJSC «VSMPO-AVISMA» (29, Zagorodnaya str., Berezniki, 618426, Russian Federation; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).