



**II международная научно-
практическая конференция
«Обработка поверхности и защита
от коррозии», Москва,
20 апреля 2023 г.**

Кафедра инновационных материалов и защиты от коррозии, Совет молодых учёных РХТУ имени Д.И. Менделеева приглашают принять участие во II международной научно-практической конференции «Обработка поверхности и защита от коррозии», которая состоится 20 апреля 2023 г. в РХТУ имени Д.И. Менделеева (Миусский комплекс).

На конференции планируется работа следующих секций:

1. Коррозия и борьба с ней.
2. Обработка поверхности.

Материалы конференции будут опубликованы в журнале «Успехи в химии и химической технологии» ISSN 1506-2017 и индексируются в базе данных РИНЦ, лучшие работы будут опубликованы в журналах «Практика противокоррозионной защиты» ISSN 1998-5738 и индексируются в базе данных ВАК и РИНЦ и «International Journal of Corrosion and Scale Inhibition» ISSN: 2305-6894, а также индексируются в базе данных Web of Science и Scopus.

Сайт конференции *zashitaotkor.muctr.ru*.

Для участия в конференции необходимо:

1. Зарегистрироваться на сайте конференции (анкета участника размещена на сайте).
2. Оформить тезисы в соответствии с требованиями (размещены на сайте).
3. Отправить тезисы на электронную почту *violatan@yandex.ru*.

С уважением, организационный комитет.



**ПРАКТИКА
ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

Том 28 № 1 2023 г.

ISSN 1998-5738 (Print)
ISSN 2658-6797 (Online)

Выходит 4 раза в год
Издается с 1996 года

Объединенный каталог «Пресса
России»
– индекс 87750, 88009

Учредитель
ООО «КАРТЭК»

Издатель
ООО «КАРТЭК»

Зарегистрирован Комитетом
Российской Федерации по печати

Свидетельство № 015777
от 26.02.1997 г.

Адрес Издателя:
Москва, Ленинский проспект,
дом 29, стр. 2
Почтовый адрес:
119071 г. Москва, а/я 64
Тел. (985) 776-10-21
E-mail: cartec-com@mail.ru
<http://www.corrosion-protection.ru>

© журнал «Практика
противокоррозионной защиты»

Редакционная коллегия

АКОЛЬЗИН Андрей Павлович (главный редактор),
доктор технических наук, профессор, Генеральный директор
ООО «КАРТЭК», г. Москва, Российская Федерация

ПОЛЯКОВ Николай Анатольевич (зам. главного
редактора), кандидат химических наук, директор АНО
«ЦНИИКС», заведующий лабораторией Института
физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина
РАН, г. Москва, Российская Федерация

АБРАШОВ Алексей Александрович, кандидат технических
наук, доцент Российского химико-технологического
университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, Российская
Федерация

АНДРЕЕВ Николай Николаевич, доктор химических наук,
заведующий лабораторией Института физической химии
и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва,
Российская Федерация

АНУФРИЕВ Николай Геннадиевич, кандидат химических
наук, ведущий научный сотрудник Института физической
химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва,
Российская Федерация

ГРОЙСМАН Алик, кандидат химических наук, председатель
Ассоциации инженеров-химиков и химиков Израиля, г. Тель-
Авив, Израиль; профессор Израильского технологического
института Технион, г. Хайфа, Израиль

КАЛУЖИНА Светлана Анатольевна, доктор химических
наук, профессор Химического факультета Воронежского
государственного университета, г. Воронеж, Российская
Федерация

МИНЕЕВА Надежда Яковлевна, доктор географических
наук, профессор Государственного университета по
землеустройству, г. Москва, Российская Федерация

РЕФОРМАТСКАЯ Ирина Игоревна, доктор химических наук,
профессор Академии Государственной противопожарной
службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация

ТИМОНИН Виктор Алексеевич, доктор химических
наук, профессор Российского химико-технологического
университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, Российская
Федерация

ЩЕРБИНА Анна Анатольевна, доктор химических наук,
проректор по науке Российского химико-технологического
университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, Российская
Федерация

ФАМ Зуи Нам, кандидат химических наук, Заместитель
Генерального директора по науке Российско-Вьетнамского
Тропического научно-исследовательского и технологического
центра (Тропический центр), г. Ханой, Вьетнам

Заведующая редакцией
АКОЛЬЗИНА Алла Викторовна, кандидат технических наук,
ООО «КАРТЭК»

Выпускающий редактор
НАРКЕВИЧ Екатерина Николаевна

Технический редактор
ГЛУХОВ Вячеслав Геннадьевич



THEORY AND PRACTICE OF CORROSION PROTECTION

Volume 28 Issue 1 2023

ISSN 1998-5738 (Print)
ISSN 2658-6797 (Online)

4 issues per year
Published 1996 – present

“Press of Russia” United Catalogue
– indices 87750, 88009

Founder
CARTEC, LLC

Publisher
CARTEC, LLC

Registered by Press Committee of the
Russian Federation

License No. 015777
issued 26.02.1997

Address of the Publisher:
build. 2, 29, Leninskii av.,
Moscow, Russian Federation
Postal address:
PO Box 64, Moscow, 119071 Russian
Federation
Tel.: +7(985) 776-10-21
E-mail: cartec-com@mail.ru
<http://www.corrosion-protection.ru>

© “Theory and Practice of Corrosion
Protection”, journal

Editorial Board

Andrey P. AKOL'ZIN (editor-in-chief),
Doctor of Technical Sciences, Professor, CEO of CARTEC, LLC,
Moscow, Russian Federation

Nikolay A. POLYAKOV (deputy editor-in-chief), Ph.D. in
Chemistry, Director of Independent Non-Profit Organization
“Central Research Institute for Corrosion and Certification”,
Head of Laboratory, Frumkin Institute of Physical Chemistry and
Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian
Federation

Alexey A. ABRASHOV, Ph.D. in Technical Sciences, assistant
professor, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of
Russia, Moscow, Russian Federation

Nikolay N. ANDREEV, Doctor of Chemistry, Head of Laboratory,
Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Nikolay G. ANUFRIEV, Ph.D. in Chemistry, leading researcher,
Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Alec GROYSMAN, Ph.D. in Physical Chemistry and Corrosion,
chairman of the Israel Association of Chemical Engineers and
Chemists, Tel Aviv, Israel; Technion (Israel Institute of Technology),
Haifa, Israel

Svetlana A. KALUZHINA, Doctor of Chemistry, Professor of
Chemical Faculty of Voronezh State University, Voronezh, Russian
Federation

Nadezhda Ya. MINEEVA, Doctor of Geography, Professor, State
University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation

Irina I. REFORMATSKAYA, Doctor of Chemistry, Professor,
Academy of the State Fire Service, EMERCOM of Russia, Moscow,
Russian Federation

Viktor A. TIMONIN, Doctor of Chemistry, Professor, Dmitry
Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow,
Russian Federation

Anna A. SHCHERBINA, Doctor of Chemistry, Vice Rector in
Science, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of
Russia, Moscow, Russian Federation

Duy Nam PHAM, Ph.D. in Chemistry, Deputy General Director for
science, Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology
Centre, Hanoi, Vietnam

Managing Editor

Alla V. AKOL'ZINA, Ph.D. in Technical Sciences, CARTEC, LLC

Copy Editor

Ekaterina N. NARKEVICH

Setting and Design

Vycheslav G. GLUKHOV



В номере:

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

В.В. Терехов, В.В. Першуков

Опыт ручного монтажа магнетитовых анодов в системах
противокоррозионной защиты..... 7

В.М. Аббасов, Ф.А. Насиров, Е.Дж. Агазаде, Х.А. Аббасова, В.И. Бахшиева,
Д.Б. Агамалиева, С.Р. Рафиева

Антикоррозионные свойства аминированного эпоксидного жидкого
полибутадиена в составе консервационных жидкостей..... 12

Т.А. Алиев, К.З. Гусейнов, И.С. Мехтиев

Влияние некоторых солей алкилфенолсульфоокислоты (АФС) на коррозию
стали марки Ст10 в двухфазной системе 0,1 Н водный раствор HCl – керосин
в составе консервационных жидкостей..... 25

А.Т. Тайекенова, А.К. Акурпекова, А.Т. Тастемирова, А.Н. Нефедов,
О. Далелханулы

Очистка трубок теплообменника от солевых отложений..... 29

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ – ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Д.В. Белов, С.Н. Беляев

Об определяющей роли биопленок микроорганизмов в иницировании и
развитии микробиологической коррозии металлов (часть 2)..... 43

СЕРТИФИКАЦИЯ..... 60

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

Информация по подготовке статей размещена на сайте:
<http://www.corrosion-protection.ru>.



Contents:

MATERIALS AND EQUIPMENT FOR CORROSION PROTECTION

V.V. Terekhov, V.V. Pershukov

Experience in manual installation of magnetite anodes in corrosion protection systems..... 7

V.M. Abbasov, F.A. Nasirov, E.J. Agazade, Kh.A. Abbasova, V.I. Bakhshiyeva,
D.B. Aqamaliyeva, S.R. Rafiyeva

Anti-corrosion properties of aminated epoxy liquid polybutadiene in the composition of conservation liquids..... 12

T.A. Aliyev, G.Z. Huseynov, I.S. Mehdiyev

Development of some AFSA salts of alkylphenol sulfuric acid influence of St10 steel on corrosion process in the 0,1 N HCl solution – kerosene system..... 25

A.T. Tayekenova, A.K. Akurpekova, A.T. Tastemirova, A.N. Nefedov, O. Dalelhanuly

Cleaning the heat exchanger pipes from salt deposit..... 29

CORROSION AND PROTECTION AGAINST CORROSION – GENERAL ISSUE

D.V. Belov, S.N. Belyaev

On the decisive role of biofilms of microorganisms in the initiation and development of microbiological corrosion of metals (part 2)..... 43

SERTIFICATION..... 60

ATTENTION TO AUTHORS

Information on the preparation of articles is posted on the website:
<http://www.corrosion-protection.ru>.



Уважаемые коллеги!

Мы были бы рады видеть Вас в числе подписчиков журнала «Практика противокоррозионной защиты». Подписаться на журнал можно во всех отделениях связи России и стран СНГ:

- объединенный каталог «Пресса России»
– индекс 87750, 88009.

Стоимость годовой подписки печатной версии – 6600 рублей, в том числе НДС (10%). Подписная цена включает стоимость доставки.

Стоимость годовой подписки электронной версии журнала – 7200 рублей, в том числе НДС (20%).

Вы также можете оформить подписку в редакции, для этого позвоните по телефону (985) 776-10-21.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

Журнал «Практика противокоррозионной защиты» входит в утвержденный ВАК Министерства науки и образования РФ перечень научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций по всей номенклатуре химических и химико-технологических специальностей, а также входит в международные базы данных Chemical Abstracts Service (CAS) и Ulrich's Periodicals Directory.



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-1

**Опыт ручного монтажа магнетитовых анодов
в системах противокоррозионной защиты**

В.В. Терехов, В.В. Першуков✉

Закрытое акционерное общество «Производственная компания «Химсервис»
имени А.А. Зорина» (ЗАО «Химсервис»)
РФ, 301651, Тульская обл., г. Новомосковск, ул. Свободы, д. 9

e-mail: adm@ch-s.ru

Аннотация. С развитием современных технологий появляются новые возможности по оптимизации затрат на обеспечение противокоррозионной защиты (ПКЗ). Снижение цен на современные магнетитовые аноды (за счет открытия компанией «Химсервис» полностью российского производства) позволило разработать новый способ их монтажа без использования дорогостоящей спецтехники.

Организации, отвечающие за эксплуатацию подземных трубопроводов, теперь могут осуществлять ремонт и монтаж анодных заземлений самостоятельно и в кратчайшие сроки. В данной статье представлены результаты опытно-промышленных испытаний нового способа монтажа анодов в различных регионах России на магистральных трубопроводах и объектах газораспределения.

Ключевые слова: коррозия, трубопроводы, катодная защита, анодные заземления, монтаж.

Для цитирования: Терехов В.В., Першуков В.В. Опыт ручного монтажа магнетитовых анодов в системах противокоррозионной защиты // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 7-11. doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-1

Статья получена: 22.08.2022, опубликована 01.03.2023.

**Experience in manual installation of magnetite anodes
in corrosion protection systems**

V.V. Terekhov, V.V. Pershukov✉

Closed Joint-Stock Company «Chemservice manufacturing company named after A.A. Zorin» (CJSC
«Chemservice»)
9, Svobody Str., Novomoskovsk, Tula region, 301651, Russian Federation

e-mail: adm@ch-s.ru

Abstract. With the development of modern technologies, new opportunities appear to optimize the costs of corrosion protection (CP). The reduction in prices for modern magnetite anodes (due to the opening of a fully Russian production by Chemservice) allowed us to develop a new method of their installation without the use of expensive special heavy equipment.

Organizations responsible for the operation of underground pipelines can now repair and install anodes independently and in the shortest possible time. This article presents the results of pilot tests of a new method of installing anodes in various regions of Russia on main pipelines and gas distribution facilities.

Keywords: corrosion, pipelines, cathodic protection, anode grounding, installation.

For citation: Terekhov, V. V., Pershukov, V. V. (2023). Experience in manual installation of magnetite anodes in corrosion protection systems. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28 (1), 7-11. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-1

Received: August 22, 2022. Published: March 01, 2023.

Введение

Основной расходный элемент системы ПКЗ – это анодный заземлитель (АЗ), требующий периодической замены в процессе работы. В качестве ано-

дов может использоваться любой токопроводящий материал – ещё недавно широко применялись стальные отходы в виде труб, рельсов и т.п. Скорость анодного растворения железа очень

высокая и составляет около 10 кг/(А·год), поэтому таких анодов требовалось очень большое количество или довольно частая их замена. При этом очень сильно загрязняются ионами железа грунтовые воды.

Сегодня наиболее современным и универсальным анодным материалом является магнетит, позволяющий выпускать легкие и компактные АЗ. Для сравнения: один магнетитовый анод заменяет 5 т стали, что положительно влияет на состояние окружающей среды.

Магнетит обладает высокой анодной стойкостью, сравнимой со стойкостью благородных металлов, что обеспечивает низкую скорость растворения – всего 0,015...0,03 кг/(А·год). АЗ из магнетита обладают стабильным сопротивлением растеканию тока и длительным сроком службы – до 35 лет.

Еще пару лет назад широкое применение магнетитовых анодов ограни-

чивала высокая цена, обусловленная сложностью изготовления отливок (технология производства сплава достаточно уникальна и требует эксклюзивного оборудования). Поэтому до недавнего времени магнетитовые аноды приходилось изготавливать на основе дорогих импортных отливок из Швеции.

В 2020 году компании «Химсервис» удалось завершить полную локализацию производства магнетита в России. Новый литейный цех позволил добиться снижения себестоимости и независимости от европейских поставок. Получено заключение Минпромторга РФ о выпуске продукции на территории РФ (использование российских материалов составляет 99%).

Важность данного события подтверждается включением магнетитовых анодов (рис. 1) в Реестр инновационной продукции ПАО «Газпром». При

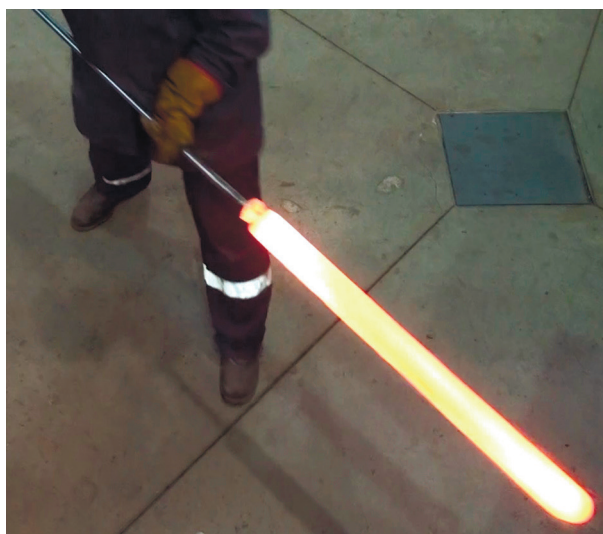
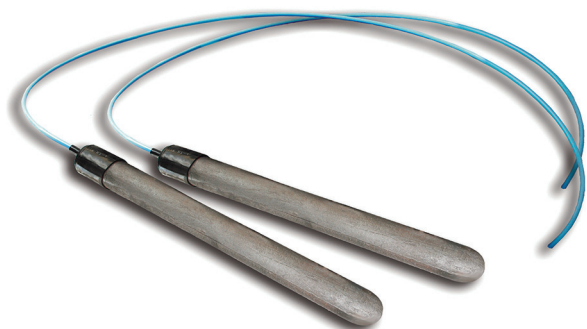


Рис. 1. Магнетитовые аноды

Fig. 1. Magnetite anodes

этом качество выпускаемых анодов подтверждено сертификацией в СДС ИНТЕРГАЗСЕРТ и ГАЗСЕРТ.

Снижение итоговой цены магнетитовых анодов практически до уровня стоимости ферросилидовых АЗ сделало их применение максимально доступным для всех желающих. Логичным стал вопрос реализации всех преимуществ магнетитовых заземлителей, а именно – их компактного размера и небольшого веса. В результате был разработан способ ручного монтажа анодов без использования спецтехники (патент № 2743823), предполагающий высокую доступность для всех организаций и служб, обеспечивающих эксплуатацию подземных трубопроводов.

Технология монтажа основана на использовании винтовых свай (рис. 2).

Монтаж свай возможен как полностью ручным способом, так и с помощью малой механизации с использованием гидравлического сваекрута (гидровращателя).

Данным способом можно осуществлять монтаж подповерхностных вертикальных анодных заземлений глубиной до 3 м (рис. 3).

Новый способ монтажа был поставлен на опытно-промышленные испытания на объектах магистрального трубопроводного транспорта и газораспределительных сетей в различных регионах России. По итогам испытаний получены фактические данные по сопротивлению растеканию смонтированных анодных заземлений на базе магнетитовых анодов «Менделеевец». Данные приведены в таблице.

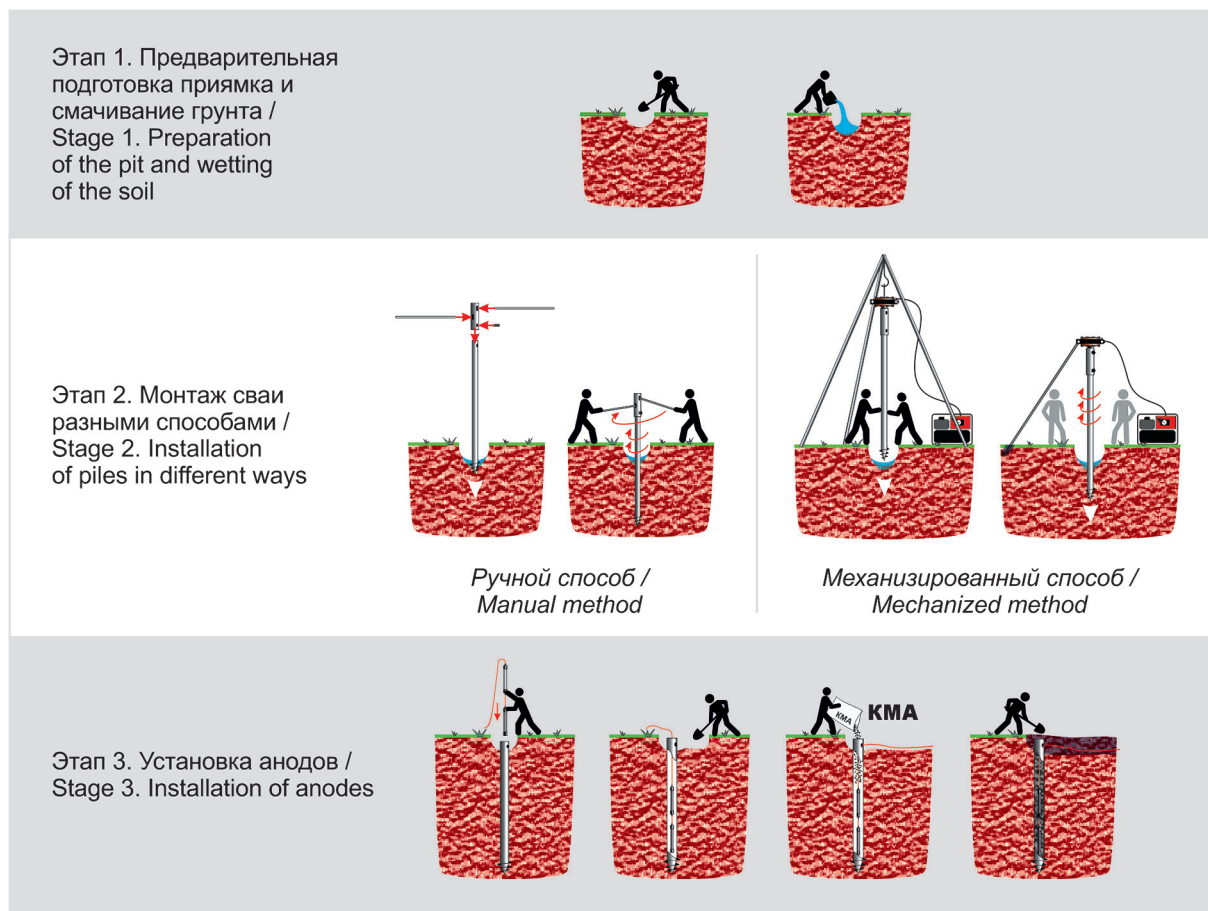


Рис. 2. Последовательность нового способа монтажа анодного заземления

Fig. 2. The sequence of the new method of mounting anode grounding

Таблица. Сопротивление растеканию анодных заземлений,
установленных в винтовые сваи

Table. Spreading resistance of anode groundings installed in screw piles

Место установки / Installation location	Количество скважин в анодном заземле- нии, шт. / Number of wells in anode grounding, pcs.	Коли- чество рабочих элемен- тов в скважине, шт. / Number of working elements in the well, pcs.	Удельное электрическое сопротивление грунта мин (макс), Ом·м / Soil electrical resistivity min (max), Om·m	Расчетное значение сопротивле- ния расте- ния тока с анодного заземления, Ом / Calculated value of current spreading resistance from anode grounding, Om	Измеренное сопротивле- ние расте- канию тока заземления в различное время, Ом / Measured resistance to current spreading from anode grounding at different times, Om	Значение сопротивле- ния анодного заземления по параметрам СКЗ, Ом / The value of the anode grounding resistance according to the RMS parameters, Om
ООО «Газпром трансгаз Волгоград» Городищенское ЛПУ МГ / ООО «Gazprom transgaz Volgograd» Gorodischenskoye LPU MG	7	2	143,0	5,815	0,95...2,28	1,02...5,50
ООО «Газпром трансгаз Волгоград» Городищенское ЛПУ МГ / ООО «Gazprom transgaz Volgograd» Gorodischenskoye LPU MG	7	2	40,7	1,655	0,55...3,01	1,98...4,44
ООО «Газпром трансгаз Волгоград» Усть-Бузулукское ЛПУ МГ / ООО «Gazprom transgaz Volgograd» Ust-Buzuluk LPU MG	5	2	47,7	1,940	2,86...3,91	1,53...1,92
ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» Ставропольское ЛПУ / ООО «Gazprom transgaz Stavropol» Stavropol LPU	3	2	2,89 (6,0)	0,28 (0,57)	0,30...0,36	0,48...0,58
ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» Изобильненское ЛПУ / ООО «Gazprom transgaz Stavropol» Izobilnenskoye LPU	5	2	2,52 (20,0)	0,14 (1,14)	0,21...2,60	0,28...4,50
ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» Невинномысское ЛПУ / ООО «Gazprom transgaz Stavropol» Nevinnomysskoye LPU	10	2	143 (468,0)	4,07 (13,32)	7,10	4,40
ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» Невинномысское ЛПУ / ООО «Gazprom transgaz Stavropol» Nevinnomysskoye LPU	10	2	143 (468,0)	4,070 (13,32)	5,00...8,50	4,40...8,40
АО «Газпром газораспределение Пенза» г. Пенза / JSC «Gazprom Gas Distribution Penza», Penza	4	2	57,3	4,077	1,50...1,60	1,50...2,00
АО «Газпром газораспределение Владимир» г. Александров / JSC «Gazprom Gas Distribution Vladimir» Alexandrov	5	2	134,0	7,628	6,27...8,52	10,83...17,86
АО «Газпром газораспределение Владимир» Владимирская обл. / JSC «Gazprom Gas Distribution Vladimir» Vladimir Region	5	2	112,0	6,376	1,25...10,54	4,03...11,81



Рис. 3. Монтаж вертикальных анодных заземлений

Fig. 3. Installation of vertical anode grounds

Заключение

Технология монтажа хорошо зарекомендовала себя в различных типах грунтов, кроме особо плотных глин и каменистой почвы, в которую очень тяжело забуривается свая вручную.

Опытным путем установлено, что время монтажа одной сваи бригадой из 4 человек составляет около 1 часа.

Успешные результаты испытаний нового способа монтажа на объектах ПАО «Газпром» открывают возможность дальнейшего широкого использования данной технологии.

Применение ручного способа установки магнетитовых анодов дает полную независимость эксплуатирующим организациям, позволяя существенно экономить на подрядных работах и на времени проведения ремонта или монтажа АЗ.

Информация об авторах

Терехов Вадим Владимирович, генеральный директор, ЗАО «Химсервис», г. Новомосковск, Российская Федерация
Першуков Вячеслав Викторович, заместитель генерального директора по развитию, ЗАО «Химсервис», г. Новомосковск, Российская Федерация

Information about authors

Vadim V. Terekhov, General Director, CJSC «Chemservice», Novomoskovsk, Russian Federation
Vyacheslav V. Pershukov, Deputy Director General for Development, CJSC «Chemservice», Novomoskovsk, Russian Federation

www.corrosion-protection.ru

Уважаемые коллеги!

В ответ на Ваши просьбы мы открываем бесплатный доступ к архивным выпускам нашего журнала.

Электронные версии публикаций доступны на официальном сайте журнала.

Ваша редколлегия





**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-2

**Антикоррозионные свойства
аминированного эпоксидного жидкого полибутадиена
в составе консервационных жидкостей**

**В.М. Аббасов, Ф.А. Насиров[✉], Е.Дж. Агазаде, Х.А. Аббасова,
В.И. Бахшиева, Д.Б. Агамалиева, С.Р. Рафиева**

Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева
Национальной академии наук Азербайджана,
Азербайджан, AZ 1025, г. Баку, пр-т Ходжалы, д. 30

e-mail: fizuli_nasirov@yahoo.com

Аннотация. Эпоксидированием жидкого полибутадиена (ЖПБД) с молекулярными массами 1500 и 3000 надмуравьиной кислотой, образованной *in situ* реакцией муравьиной кислоты с пероксидом водорода, синтезированы эпоксидированные полибутадиены. Реакцией аминирования эпоксидированных полибутадиенов получены их аминопериодические производные.

В реакции аминирования эпоксидированного жидкого полибутадиена (ЭЖПБД) использовали $ZnCl_2$ в качестве катализатора, алюминийорганические соединения и растворители производства фирм Sigma-Aldrich и Merck и отработанное турбинное масло Т-30. Строение ЖПБД, ЭЖПБД и его аминопериодического производного (АЭЖПБД) определяли на ИК-Фурье-спектрометре Альфа производства BRUKER (Германия) в диапазоне частот $400...4000\text{ см}^{-1}$ и толщине поглощающего слоя $10...15\text{ мкм}$, а ЯМР-спектры зарегистрированы на спектрометре "Bruker-Fourier" (300 MHz) на частотах 300 МГц .

Синтезированные аминопериодические производные, помимо высокой адгезии к поверхности металла, обладают также синергетическим эффектом и значительно повышают защитный эффект ингибитора, ускоряют растворимость в минеральных маслах и значительно улучшают антикоррозионное качество консервационных жидкостей.

Образцы аминированных эпоксидированных полибутадиенов испытаны в составе консервационных жидкостей и показали высокую антикоррозионную эффективность в гидрокамере "Q-4" (ГОСТ 9.054-75) в течение $310...480$ суток, в морской воде в течение $210...360$ суток и в $0,001\%$ серной кислоте в течение $130...260$ суток.

Ключевые слова: жидкий полибутадиен, муравьиная кислота, перекись водорода, надмуравьиная кислота, эпоксидирование, аминирование, ингибитор коррозии.

Для цитирования: Аббасов В.М., Насиров Ф.А., Агазаде Е.Дж., Аббасова Х.А., Бахшиева В.И., Агамалиева Д.Б., Рафиева С.Р. Антикоррозионные свойства аминированного эпоксидного жидкого полибутадиена в составе консервационных жидкостей // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 12-24. doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-2

Статья получена: 17.07.2022, опубликована 01.03.2023.

**Anti-corrosion properties
of aminated epoxy liquid polybutadiene
in the composition of conservation liquids**

**V.M. Abbasov, F.A. Nasirov[✉], E.J. Agazade, Kh.A. Abbasova,
V.I. Bakhshiyeva, D.B. Aqamaliyeva, S.R. Rafiyeva**

Institute of Petrochemical Processes named after Y.H. Mamedaliyev
National Academy of Sciences,
30, Khojaly Av., Baku, AZ 1025, Azerbaijan

e-mail: fizuli_nasirov@yahoo.com

Abstract. Epoxidized polybutadienes were synthesized by epoxidation of liquid polybutadiene (LPBD) molecular weights of 1500 and 3000 with performic acid formed *in situ* by the reaction of formic acid and hydrogen peroxide. The amination reaction of epoxidized polybutadienes was used to obtain their amine derivatives.

In the amination reaction of epoxidized liquid polybutadiene (ELPBD), $ZnCl_2$ was used as a catalyst, organoaluminum compounds and solvents produced by Sigma-Aldrich and Merck, and waste turbine oil T-30. The structure of LPBD, ELPBD and its amino derivative (AELPBD) was determined on a Bruker Alpha IR

Fourier spectrometer (Germany) in the frequency range of 400...4000 cm^{-1} and NMR spectra were recorded on a Bruker-Fourier spectrometer (300 MHz) at frequencies of 300 MHz.

The synthesized amine derivatives, in addition to high adhesion to the metal surface, also have a synergistic effect and significantly increase the protective effect of the inhibitor, accelerate solubility in mineral oils and significantly improve the anti-corrosion quality of conservation liquids. Samples of aminated epoxidized polybutadienes tested as part of conservation liquids showed high anticorrosion efficiency in the Q-4 hydro chamber (GOST 9.054-75) for 310...480 days, in sea water for 210...360 days and in 0,001 % sulfuric acid in within 130...260 days.

Keywords: liquid polybutadiene, formic acid, hydrogen peroxide, performic acid, epoxidation, amination, corrosion inhibitor.

For citation: Abbasov, V. M., Nasirov, F. A., Agazade, E. J., Abbasova, Kh. A., Bakhshiyeva, V. I., Aqamaliyeva, D. B., & Rafiyeva, S. R. (2023). Anti-corrosion properties of aminated epoxy liquid polybutadiene in the composition of conservation liquids. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28 (1), 12-24. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-2

Received: July 17, 2022. Published: March 01, 2023.

Введение

В последние годы широкое распространение получило использование различных консервационных жидкостей для защиты машин и механизмов от коррозии при эксплуатации или хранении. Использование ингибиторов коррозии в малых количествах в составе консервационных жидкостей как средства защиты от коррозии обусловлено простотой технологии получения и экономической эффективностью их применения [1-3]. Благодаря способности ингибитора коррозии в составе консервационных жидкостей хемосорбироваться на поверхности металла, он снижает растворимость за счет пассивационных процессов, протекающих на поверхности, с образованием комплекса в зоне коррозии – защитного слоя – и предотвращает коррозию металла [2, 3]. Большинство ингибиторов, применяемых для защиты от коррозии металлосодержающего технологического оборудования в нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, представляют собой азотсодержащие соединения [1].

В последние годы становится более актуальным использование реагентов с относительно высокой молекулярной массой (растительные масла, нефтяные кислоты, высокомолекулярные амины, синтетические каучуки и др.) в качестве ингибиторов коррозии [4-6]. С другой стороны, жидкие каучуки (низкомолекулярные 1,4-цис-полибутадиены) также могут быть использованы для защиты металлов от коррозии благодаря их высокой пленкообразующей способности [7-9]. Однако несмотря на их перспективность, антикоррозионные свойства, как самих жидких каучуков, так и их модифика-

торов еще недостаточно изучены [9].

Антикоррозионные покрытия на основе жидкого каучука (низкомолекулярного 1,4-цис-полибутадиена), в основном, содержат 40...60%-ный раствор жидких каучуков с молекулярной массой 5000...10000 в органических растворителях (толуол, ксилол, уайт-спирит и др.), неорганические пигменты (оксид титана, оксид цинка, литопон, порошок мела и др.) и характеризуются хорошими пленкообразующими свойствами [7-9]. Однако их нельзя использовать в качестве ингибитора коррозии в консервационных жидкостях из-за высоких расходных показателей и низких антикоррозионных свойств вследствие отсутствия азотсодержащих фрагментов в составе.

Как известно, эпоксидные смолы находят широкое применение в лакокрасочной промышленности благодаря отличной адгезии к металлам, высоким прочностным и электроизоляционным свойствам, устойчивости к действию различных химических веществ и агрессивных сред и влаги. Наличие устойчивых углерод-углеродных и эфирных связей в структуре эпоксидных смол обеспечивает их высокую химическую стойкость [10, 11]. При их использовании в сочетании с ингибиторами коррозии эпоксидные покрытия демонстрируют удовлетворительную защиту от коррозии, противостоя воздействию различных агрессивных сред.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно отметить, что создание ингибиторов коррозии на основе эпоксидированного жидкого каучука и применение их в составе консервационных жидкостей является актуальной задачей и имеет определенное научное и практическое значение. Ниже приведены

результаты исследований по изучению антикоррозионной эффективности продуктов, полученных реакцией аминирования эпокси-дированного жидкого каучука, в качестве компонента консервационных жидкостей.

Методика эксперимента

В работе использованы низкомолекулярные 1,4-цис полибутадиены с молекулярными массами 1500 и 3000, синтезированные в нашей лаборатории методом стереоспецифической полимеризации бутадиена с применением никельсодержащих каталитических дитиосистем, на основе органических дитиопродуктов никеля (*Ni*-ДТП – дитиофосфаты, дитиокарбаматы и ксантогенаты) и алюминийорганических соединений (АОС – диэтил- или ди-изо-бутил-алюминий хлориды (ДЭАХ или ДИБАХ) согласно [12-15].

Эпоксидирование жидкого полибутадиена (ЖПБД) проводили с использованием надмуравьиной кислоты, полученной *in situ* реакцией муравьиной кислоты и перекиси водорода, согласно [16-18].

В реакции аминирования эпоксидированного жидкого полибутадиена (ЭЖПБД) в качестве катализатора использовали $ZnCl_2$, полученный от фирмы Вектан (РФ).

В работе использованы алюминийорганические соединения и растворители производства фирм Sigma-Aldrich и Merck, а также отработанное турбинное масло Т-30.

Строение ЖПБД, ЭЖПБД и его аминопроизводного (АЭЖПБД) определяли на

ИК-Фурье-спектрометре Альфа производства BRUKER (Германия) в диапазоне частот 400...4000 cm^{-1} и толщине поглощающего слоя 10...15 мкм, а ЯМР-спектры зарегистрированы на спектрометре "Bruker-Fourier" (300 MHz) на частотах 300 МГц.

Антикоррозионные свойства АЭЖПБД в составе консервационных масел изучили согласно ГОСТ 9.054-75.

Результаты и их обсуждение

Реакции синтеза полибутадиена, его эпоксидирования и аминирования эпокси-полибутадиена осуществляются согласно схеме, где n – количество двойных связей; $n-m$ – количество реакционноспособных двойных связей; m – количество эпоксидных групп; k – количество аминогрупп; *Ni*-ДТП – дитиопродукт никеля; АОС – алюминийорганическое соединение; $R_1 = R_2 = C_2-C_8$ алкильные радикалы.

Реакции синтеза эпоксидированного жидкого полибутадиена с различными аминами (диэтиламин, дибутиламин, дигексиламин и диоктиламин) осуществили по нижеследующей типовой методике: в реактор с объемом 100 мл, снабженном мешалкой, нагревательным элементом и линией для отбора проб, вводят 3,0 г (2 ммоль) эпоксидированного жидкого полибутадиена с молекулярной массой 1500 (ЭЖПБД-1500), добавляют 3,0 мл (2,1 г, 28,6 ммоль) диэтиламина и 0,3 г (2,2 ммоль) катализатора – $ZnCl_2$. Температуру в колбе поднимают до 60 °С и при переме-

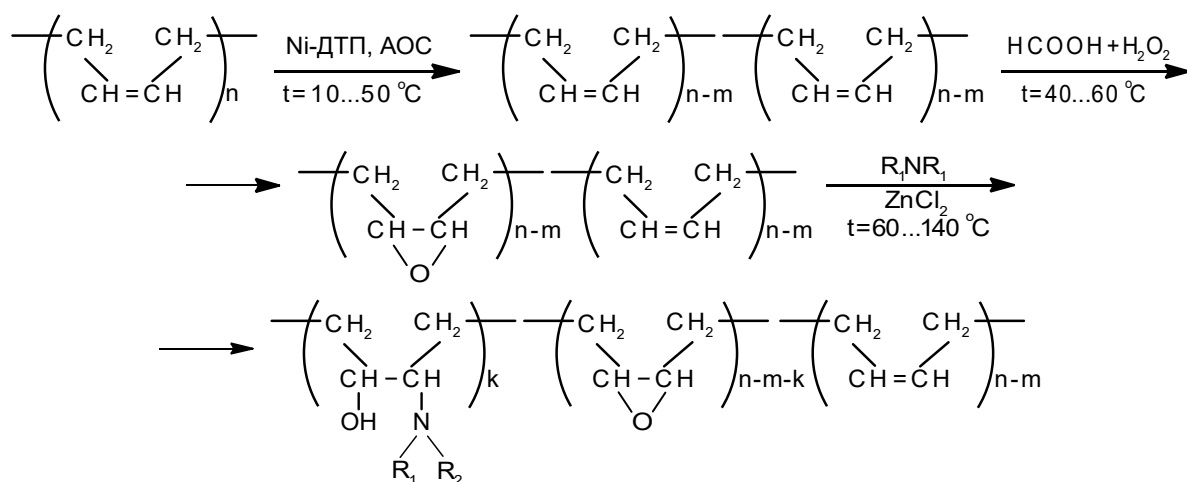


Схема. Реакция синтеза полибутадиена

Schema. Polybutadiene synthesis reaction

шивании продолжают нагревание в течение 4-х часов. После реакции смесь охлаждают до комнатной температуры и в ротормном испарителе при 60 °С при небольшом вакууме удаляют непрореагировавший амин. В этих условиях из целевого продукта удается полностью удалять непрореагировавший диэтиламин. Полученный продукт растворяют в 50 мл этилацетата и раствор переносят в делительную воронку. Промывкой три раза с 50 мл насыщенным раствором бикарбоната натрия удаляют $ZnCl_2$. Полученный органический слой три раза промывают 50 мл дистиллированной воды и насыщенным раствором хлорида натрия. Полученный органический слой сушат над $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, фильтруют и сушат в вакууме при 60 °С в течение 30 минут. Выход аминированного эпоксицированного жидкого полибутадиена (АЭЖПБД-1500-ДЭА) составляет 80%.

Аналогичные синтезы проводят с исполь-

зованием эпоксицированного жидкого полибутадиена с молекулярной массой 3000 (ЭЖПБД-3000) и другими аминами (дибутиламин, дигексиламин и диоктиламин). Полученные результаты приведены в табл. 1 и 2. ИК- и ЯМР-спектры исходных и синтезированных продуктов приведены на рис. 1-3.

ИК-спектры эпоксицированных ЭЖПБД (рис. 1b) отличаются от ИК-спектров исходных (рис. 1a) уменьшением интенсивности в областях 733, 965, 1655 cm^{-1} , приписываемых цис- и транс-двойных связей, а также появлением новых полос при 812, 1271 и 1388 cm^{-1} , характерных для валентных колебаний цис-эпоксицидных колец и 877 cm^{-1} - транс-эпоксицидных колец. Причем их интенсивность увеличивается с увеличением глубины эпоксицирования.

В ИК-спектрах аминированного эпоксицированного жидкого полибутадиена – АЭЖПБД (рис. 1c) появляются новые

Таблица 1. Результаты реакции аминирования эпоксицидного жидкого полибутадиена.

Условия для протекания реакции: ЭЖПБД-1500 = 3 г (2,0 ммоль);

ЭЖПБД-3000 = 6 г (2,0 ммоль); $ZnCl_2$ = 0,3 г (2,2 ммоль)

Table 1. Results of the amination reaction of epoxy liquid polybutadiene.

Conditions for the reaction: EJDBD-1500 = 3 g (2,0 mmol); EJDBD-3000 = 6 g (2,0 mmol);

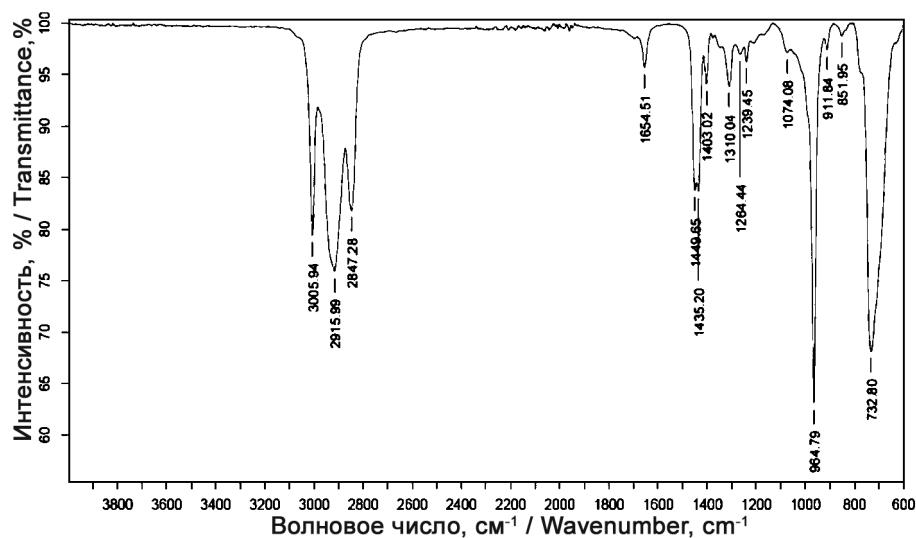
$ZnCl_2$ = 0,3 g (2,2 mmol)

№ обр. / № sample	Целевой продукт / Target product	Исходные соединения / Initial connections		Колич. амина, г/моль / Amount of amine g/mole	T, °C	τ, час / τ, hour	Выход, %
		ЭЖПБД	Амин / Amine				
1	АЭЖПБД-1500-ДЭА	ЭЖПБД-1500	ДЭА	2,1/28,6	60	4	80
2	АЭЖПБД-1500-ДБА		ДБА	3,7/28,6	80	4	85
3	АЭЖПБД-1500-ДГА		ДГА	5,3/28,6	100	4...6	90
4	АЭЖПБД-1500-ДОА		ДОА	6,9/28,6	140	4...6	95
5	АЭЖПБД-3000-ДЭА	ЭЖПБД-3000	ДЭА	2,1/28,6	60	4	82
6	АЭЖПБД-3000-ДБА		ДБА	3,7/28,6	80	4	86
7	АЭЖПБД-3000-ДГА		ДГА	5,3/28,6	100	4...6	91
8	АЭЖПБД-3000-ДОА		ДОА	6,9/28,6	140	4...6	97

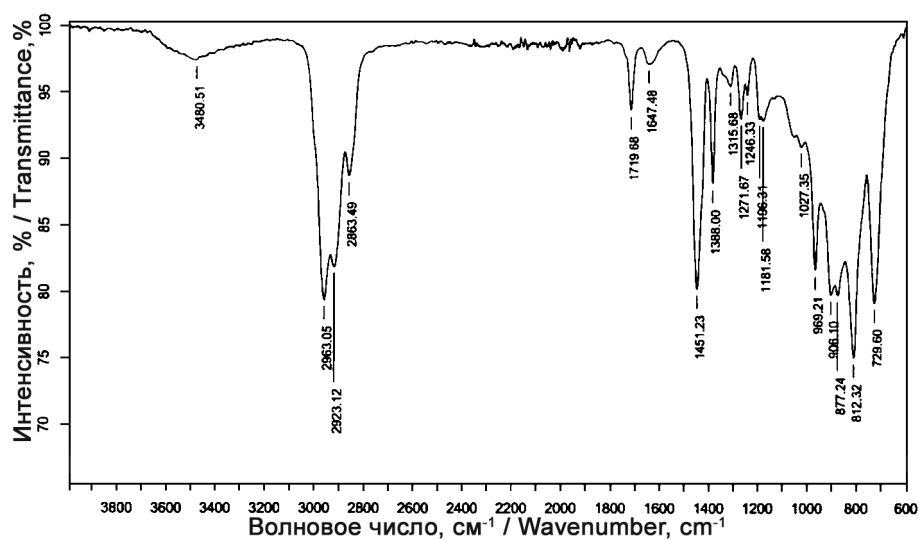
Таблица 2. Основные свойства исходных, эпоксидированных и аминированных эпоксидированных жидких полибутадиенов

Table 2. Basic properties of initial, epoxidized and aminated epoxidized liquid polybutadiens

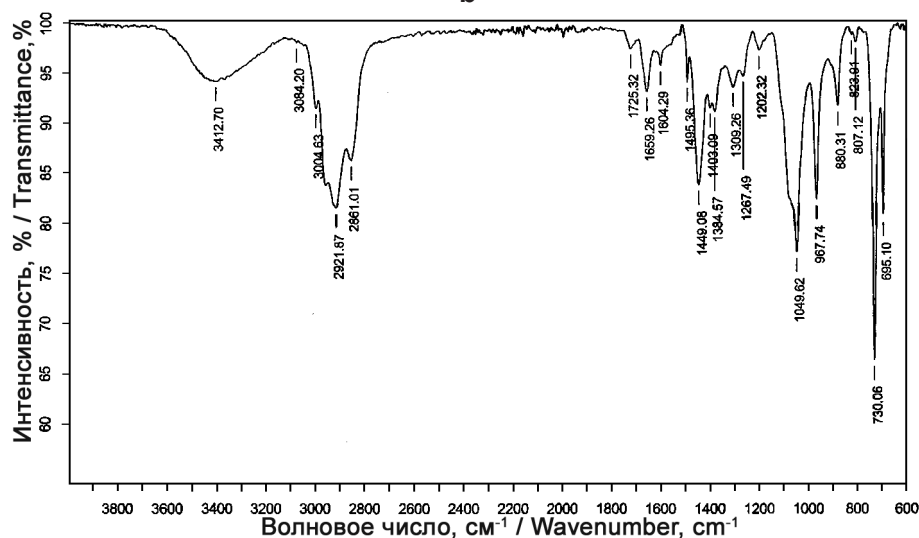
№	Химическая формула / Chemical formula	Название / Name	Эмпирическая формула / Empirical formula	Молек. масса / Molecular weight	Кол-во активных групп / Number of active groups		
					Двойные связи, n , ($=$) / Double bonds, n , ($=$)	Эпоксидные группы, m , ($=O$) / Epoxy groups, m , ($=O$)	Аминные группы, k , (N) / Amine groups, k , (N)
1	2	3	4	5	6	7	8
1		ЖПБД	$(C_4H_6)_n$ ($n=28$; $m=0$)	1500	28	-	-
2			$(C_4H_6)_n$ ($n=56$; $m=0$)	3000	56	-	-
3		ЭЖПБД	$(C_4H_6O)_n$ ($n=14$; $m=14$)	1725	14	14	-
4			$(C_4H_6O)_n$ ($n=30$; $m=26$)	3415	30	26	-
5	 $R_1=R_2=C_2H_5$	АЭЖПБД- 1500-ДЭА	$(C_4H_6ON)_n$ ($n=14$; $m=4$; $k=10$)	2456	14	4	10
6	$R_1=R_2=C_4H_9$	АЭЖПБД- 1500-ДБА	$(C_4H_6ON)_n$ ($n=14$; $m=3$; $k=11$)	3147	14	3	11
7	$R_1=R_2=C_6H_{13}$	АЭЖПБД- 1500-ДГА	$(C_4H_6)_n$ ($n=14$; $m=2$; $k=12$)	3950	14	2	12



a



b



c

Рис. 1. ИК-спектры: исходного – ЖПБД (а), эпоксидированного – ЭЖПБД (б) и аминированного эпоксидированного АЭЖПБД (с) жидкого полибутадиена

Fig. 1. IR spectra of (a) initial liquid LPBD, (b) epoxidized liquid ELPBD, and (c) aminated epoxidized AELPBD liquid polybutadiene

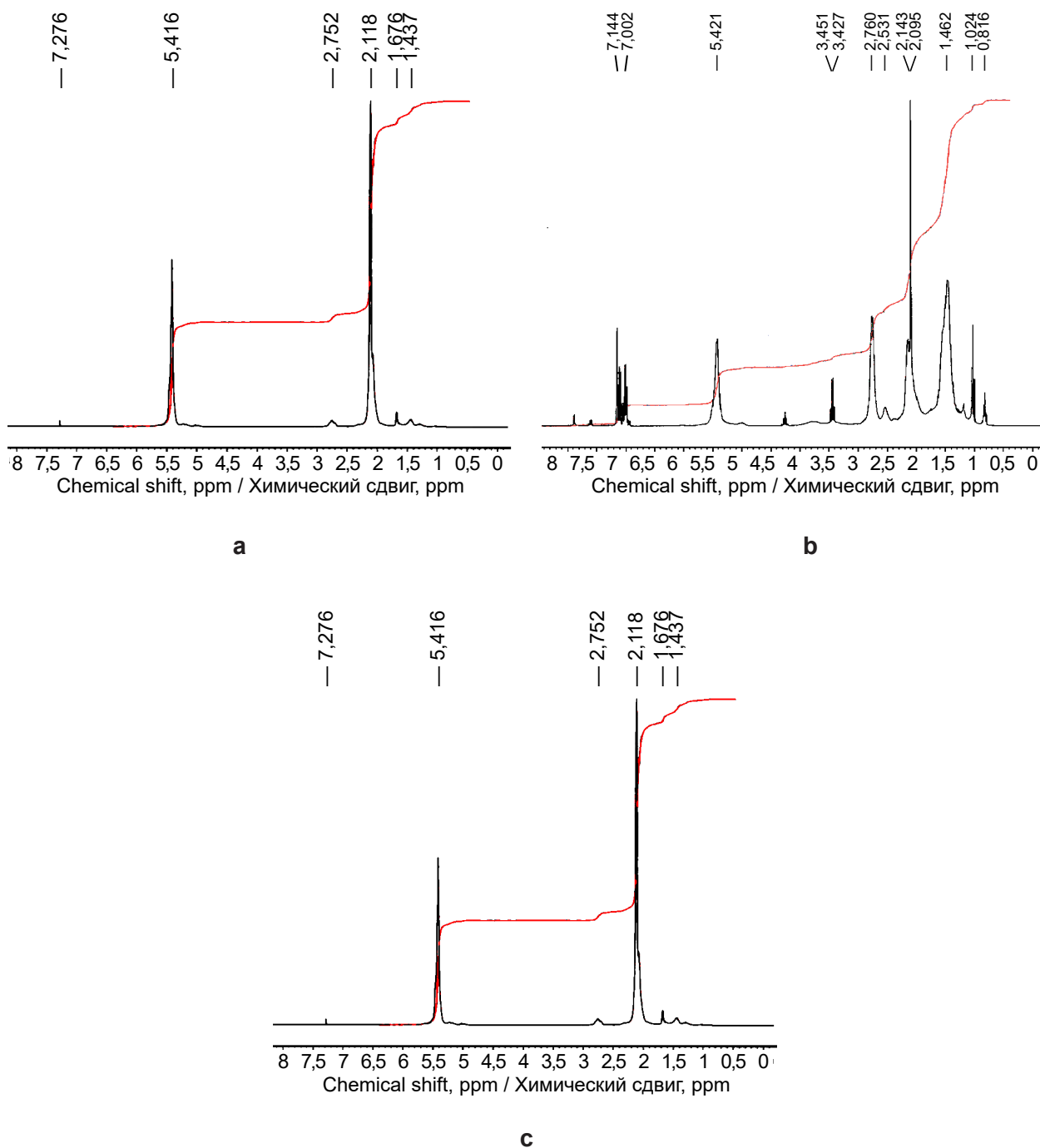
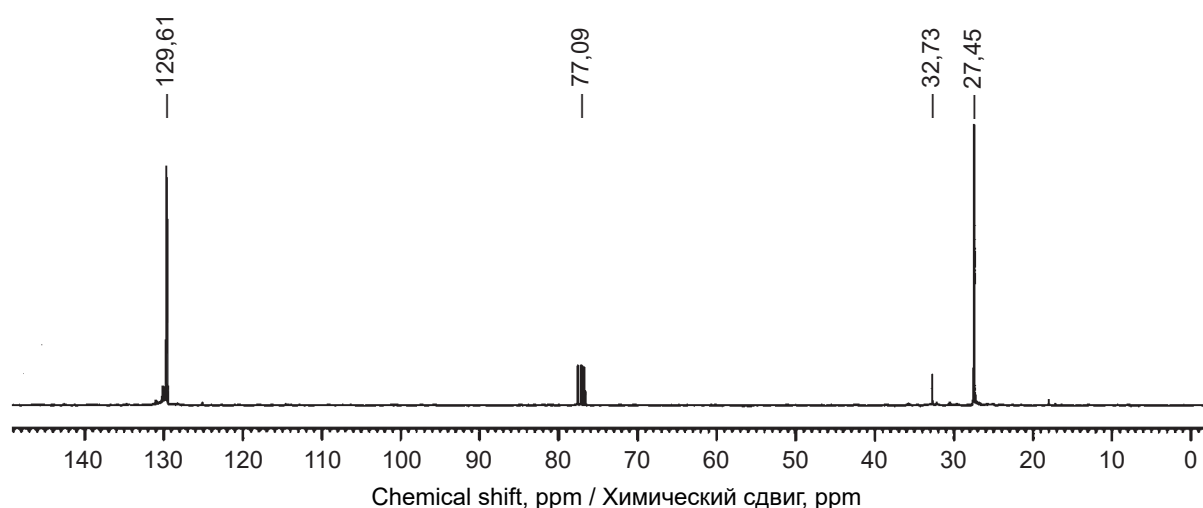
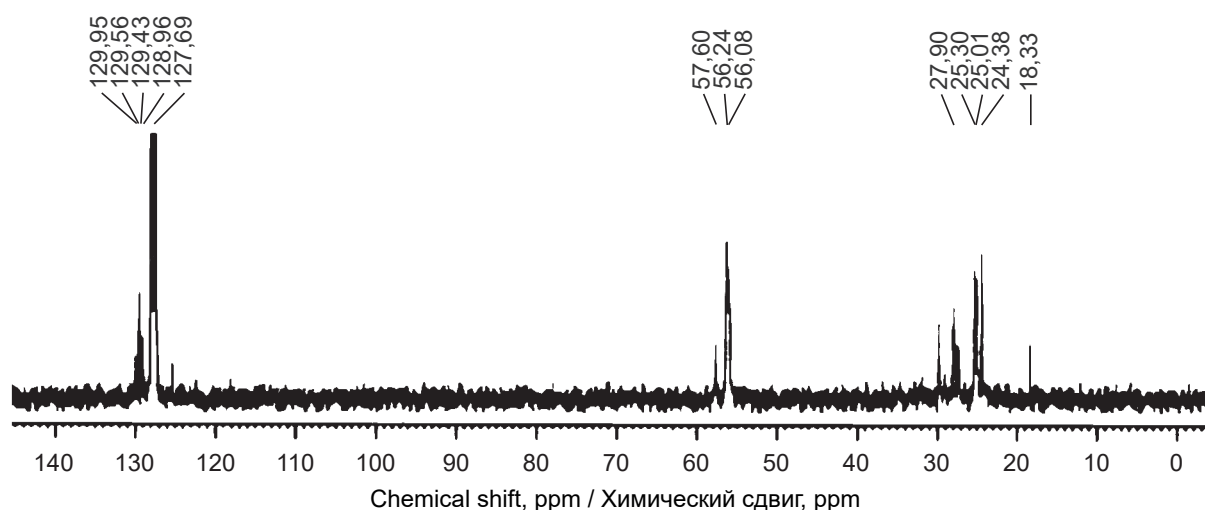


Рис. 2. ^1H -ЯМР-спектры: исходного – ЖПБД (а), эпоксидированного – ЭЖПБД (б) и аминированного эпоксидированного АЭЖПБД (с) жидкого полибутадиена

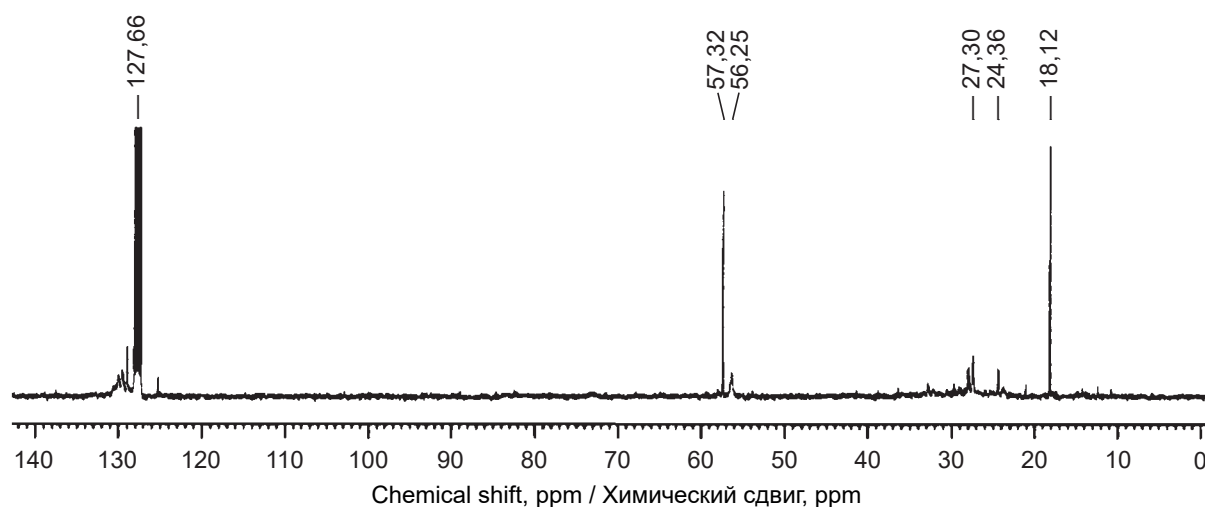
Fig. 2. ^1H -NMR spectra of: (a) initial LPBD, (b) epoxidized ELPBD, and (c) aminated epoxidized AELPBD liquid polybutadiene



a



b



c

Рис 3. ^{13}C -ЯМР-спектры: исходного – ЖПБД (а), эпоксидированного – ЭЖПБД (б) и аминированного эпоксидированного АЭЖПБД (с) жидкого полибутадиена

Fig. 3. ^{13}C -NMR spectra of: initial - LPBD (a), epoxidized - ELPBD (b) and aminated epoxidized AELPBD (c) liquid polybutadiene

полосы при 1049 см^{-1} и 3412 см^{-1} соответствующие $C-O$ и $O-H$ связям спирта, а также полосы при 1202 см^{-1} , относящаяся к $N-H$ связи, что указывают на образование аминопериоидных в ЭЖПБД.

Образование эпоксидных и аминных групп подтверждается также ЯМР-спектрами.

ЖПБД: ^1H NMR: 2.12 (4H, $-\text{CH}_2-$), 5.42 (2H, $-\text{CH}=\text{}$); ^{13}C NMR m.h.: 27.45 ($-\text{CH}_2-$), 129.61 ($-\text{CH}=\text{}$).

ЭЖПБД: ^1H NMR: 1.46 (4H, $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}-$), 2.1 (4H, $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{}$), 2.76 (2H, $-\text{CH}-\text{O}-$), 5.42 (2H, $-\text{CH}=\text{}$); ^{13}C NMR m.h.: 25.01, 25.30 ($-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}-$), 27.90 ($-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{}$), 56.10, 56.21 ($-\text{CH}-\text{O}-$), 128.96, 129.43 ($-\text{CH}=\text{}$).

АЭЖПБД: ^1H NMR: 1.13 (6H, $-\text{CH}_3$), 1.42 (4H, $-\text{CH}_2-\text{CH}-$), 2.1 (4H, $-\text{CH}_2-\text{CH}-$), 2.73 (1H, $-\text{CH}-\text{N}<$), 3.6 (4H, $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), 4.21 ($-\text{CH}-\text{O}-$), 5.39 ($-\text{CH}=\text{}$).

Для получения высокоэффективных консервационных жидкостей в отработанное трансформаторное масло Т-30 добавляли АЭЖПБД в количестве 1,0; 5,0 и 10,0%. Результаты исследования эффективности

АЭЖПБД в качестве ингибитора коррозии в минеральном масле Т-30 приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, образцы АЭЖПБД-1500 и АЭЖПБД-300 обладают высоким антикоррозионным эффектом и превосходят аналоги на основе базовых масел. Хотя при использовании базового масла через 26 суток в гидрокамере, 15 суток в морской воде и 9 суток в 0,001% растворе H_2SO_4 проявляются признаки коррозии, при использовании образцов АЭЖПБД в предлагаемых консервационных жидкостях достигаются следующие результаты: 310...480 суток в гидравлической камере, 210...360 суток в морской воде, 130...260 суток в 0,001% растворе H_2SO_4 . Как видно из табл. 3, в образцах ЖПБД и ЭЖПБД эти значения составляют 72...84 суток в гидрокамере, 40...49 суток в морской воде и 23...28 суток в 0,001%-ном растворе кислоты H_2SO_4 . Таким образом, включение азотной группы в ЭЖПБД приводит к резкому усилению ингибирующего действия АЭЖПБД, что свидетельствует о

Таблица 3. Результаты испытаний антикоррозионных свойств аминированного эпоксицирированного жидкого полибутандиена (АЭЖПБД) в составе консервационных жидкостей

Table 3. Test results of anticorrosive properties of laminated epoxidized liquid polybutadiene (AESDBD) in the composition of preservation liquids

№	Образцы / Sample	Количество ингибитора, % (масс.) / The amount of the inhibitor, % (wt.)	В гидрокаме- ре, «Q-4», сутки / In the hydro chamber, «Q-4», day	В морской воде, сутки / In sea water, day	В растворе 0,001% H_2SO_4 , сутки / In a solution of 0.001% H_2SO_4 , day
1	2	3	4	5	6
1	АЭЖПБД-1500-ДЭА	1,0	310	210	130
2		5,0	330	230	145
3		10,0	350	250	160
4	АЭЖПБД-1500-ДБА	1,0	320	240	140
5		5,0	350	260	180
6		10,0	370	280	200

Таблица 3. Продолжение

Table 3. Continuation

1	2	3	4	5	6
7	АЭЖПБД-1500-ДГА	1,0	340	250	150
8		5,0	370	270	170
9		10,0	380	280	190
10	АЭЖПБД-1500-ДОА	1,0	360	270	170
11		5,0	380	290	170
12		10,0	400	300	190
13	АЭЖПБД-3000-ДЭА	1,0	370	280	180
14		5,0	410	320	200
15		10,0	430	340	220
16	АЭЖПБД-3000-ДБА	1,0	420	290	190
17		5,0	450	300	210
18		10,0	460	320	230
19	АЭЖПБД-3000-ДГА	1,0	430	300	200
20		5,0	440	330	230
21		10,0	470	350	250
22	АЭЖПБД-3000-ДОА	1,0	400	300	200
23		5,0	440	340	240
24		10,0	480	360	260
Контрольные образцы / Control samples					
25	ЖПБД-1500	10,0	73	41	25
26	ЖПБД-3000	5,0	72	40	23
27	ЭЖПБД-1500	10,0	84	49	28
28	ЭЖПБД-3000	5,0	80	45	27
29	Т-30 (отработанное исходное масло) / Т-30 (used source oil)	100	26	15	9

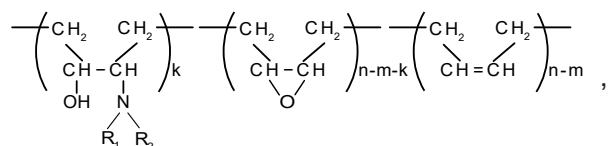
значении азотных групп в увеличении ингибирующего действия предлагаемых аминопроизводных.

Возможность получения консервационного масла путем простого добавления в отработанное масло Т-30 продукта, синтезированного реакцией аминирования эпоксидного жидкого полибутадиена (легкодоступного продукта) упрощает технологию процесса и значительно снижает дополнительные затраты, что в конечном итоге приводит к значительному экономическому эффекту.

Так, применение образцов АЭЖПБД-1500 и АЭМПБД-3000, синтезированных реакцией аминирования эпоксидированного жидкого полибутадиена, в составе консервационной жидкости на основе турбинного масла Т-30 показало высокую антикоррозионную эффективность в гидрокамере "Q-4" (ГОСТ 9.054-75) в течение 310...480 суток, в морской воде в течение 210...360 суток и в 0,001% серной кислоте в течение 130...260 суток.

Заключение

Синтезированный, с включением азотсодержащих функциональных групп в молекулу эпоксидированного полибутадиена, аминопроизводное с формулой:



помимо высокой адгезии к поверхности металла, обладает также синергетическим эффектом и значительно повышает защитный эффект ингибитора, ускоряет растворимость в минеральных маслах и значительно улучшает антикоррозионное свойство консервационных жидкостей. При применении в составе консервационной жидкости на основе турбинного масла Т-30 оно показало высокую антикоррозионную эффективность в гидрокамере: "Q-4" – в течение 310...480 суток, в морской воде – в течение 210...360 суток и в 0,001% растворе серной кислоты – в течение 130...260 суток.

Литература

1. Abbasov V.M. Corrosion. – Baku: Elm, 2007. – 355 p.
2. Rozenfeld I.L. Corrosion Inhibitors. –

New York: McGraw-Hill, 1981, – 182 p.

3. Zvirko O.I., Mytsyk A.B., Tsyrlunyk O.T., Gabetta G., Nykyforchyn H.M. Corrosion Degradation of Steel of an Elbow of Gas Pipeline with Large-Scale Delamination after Long-Term Operation // Mater.Sci. – 2017. – V. 52, Issue 6. – С. 861-865. doi: org/10.1007/s11003-017-0032-8

4. Лабутин А.Л. Антикоррозионные и герметизирующие материалы на основе СК. Л.: Химия, 1982, – 214 с.

5. Brylee D.B.Ti, Rigoberto C.A. Polymeric corrosion inhibitors for the oil and gas industry: Design principles and mechanism // Reactive and Functional Polymers. – 2015. – № 95, – P. 25-45. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2015.08.006

6. Дринберг А.С., Ицко Э.Ф., Калинская Т.В. Антикоррозионные грунтовки. – СПб.: НИПРОИНС ЛКМ и П с ОП, 2006. – 168 с.

7. Композиция для антикоррозионного покрытия. А.С. СССР №1538459, 1989.

8. Sørensen P.A., Kiil S., Dam-Johansen K., Weinell C.E. Anticorrosive coatings: a review // Journal of Coatings Technology and Research. – 2009. – V. 6, № 2. – P.135-176.

9. Dilcher J.-P., Jurgens H., Luinstra G.A. Sequential Post-modifications of Polybutadiene for Industrial Applications // In: Advances in Polymer Science. Multi-Component and Sequential Reactions in Polymer Synthesis / Patrick T. (Ed.). – 2015, – V. 269, chapter 309.

10. Epoxy Corrosion-Inhibiting Coating // Patent № 5,859,095 (USA), 1999.

11. Epoxy Corrosion Inhibition Systems Including Ethoxylated Curing Agents // Patent № 5,945,164 (USA), 1999.

12. Селективная полимеризация бутадиена во фракции С4 пиролиза нефти // Patent № i 2017 0031 (AZE), 2017.

13. Способ получения 1,4-цис полибутадиена / В.С. Алиев, С.М. Алиев, А.Г. Азизов, Ф.А. Насиров, Г.А. Мамедалиев, Т.А. Исмаилов // Patent № 1066190 (СССР), 1979.

14. Catalyst for polymerization of diene and method of obtaining polydienes with the use of said catalyst / V.S. Aliev, S.M. Aliev, A.H. Azizov, F.A. Nasirov, G.A. Mamedaliev, T.A. Ismailov, V.M. Kruchinina, N.F. Dzhanibekov, I.P. Golberg, R.K. Gadzhiyev, F.M. Novruzova, M.Kh. Mamedov, et all. // WO Patent № 1991002587, 07.03.1991.

15. Nasirov F.A. Bifunctional nickel- or cobalt-containing catalyst-stabilizers for polybutadiene production and stabilization. (Part 1) Polymerization of butadiene with nickel- or cobalt- containing catalytic dithiosystems. Kinetic study and molecular mass-stereoregularity correlation // *Iranian Polymer Journal*. – 2003. – V. 12, № 3. – P. 217-235.

16. Abbasova Kh.A., Agazade Y.J., Bakhshiyeva V.I., Rafiyeva S.R., Tagiyeva A.M., Nasirov F.A. Epoxidation of liquid polybutadienes // *Processes of Petrochemistry and Oil refining*. – 2021. – V. 22, №4. – P. 519-529.

17. Preparation of Liquid Epoxides from Polydiolefins // Patent №3,253,000 (USA), 1966.

18. Jacobi M.M., Neto C.P., Schneider C.G., Rocha T.L.A.C., Alegre P., Schuster R.H. Study of the Epoxidation of Polydiene // *Rubbers. Kautsch. Gummi Kunstst.* – 2002. – V. 52. – P. 301.

References

1. Abbasov, V. M. (2007). *Corrosion*. Baku: Elm.

2. Rozenfeld, I. L. (1981). *Corrosion Inhibitors*. New York: McGraw-Hill.

3. Zvirko, O. I., Mytsyk, A. B., Tsyurulnyk, O. T., Gabetta, G., & Nykyforchyn, H. M. (2017). Corrosion Degradation of Steel of an Elbow of Gas Pipeline with Large-Scale Delamination after Long-Term Operation. *Mater.Sci.*, 52, Issue 6, 861-865. doi.org/10.1007/s11003-017-0032-8

4. Labutin, A. L. (1982). *Anticorrosive and sealing materials based on SK*. Leningrad . Chemistry.

5. Brylee, D. B. Ti, Rigoberto, C. A. (2015). Polymeric corrosion inhibitors for the oil and gas industry: Design principles and mechanism. *Reactive and Functional Polymers*, 95, 25-45. 10.1016/j.reactfunctpolym. 2015.08.006

6. Drinberg, A. S., Itsko, E. F., & Kalinskaya, T. V. (2006). *Anticorrosive primers*. St. Petersburg: NIPROINS LKM and P with OP.

7. *Composition for anti-corrosion coating*.

Author's certificate of the USSR No. 1538459, 1989.

8. Sørensen, P.A., Kiil, S., Dam-Johansen, K., & Weinell, C. E. (2009). Anticorrosive coatings: a review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 6(2), 135-176.

9. Dilcher, J.-P., Jurgens, H., & Luinstra, G. A. (2015). Sequential Post-modifications of Polybutadiene for Industrial Applications. In: *Advances in Polymer Science. Multi-Component and Sequential Reactions in Polymer Synthesis / Patrick T. (Ed.)*, 269, chapter 309.

10. Epoxy Corrosion-Inhibiting Coating. (1999). Patent № 5,859,095 (USA).

11. Epoxy Corrosion Inhibition Systems Including Ethoxylated Curing Agents. (1999). Patent № 5,945,164 (USA).

12. Selective polymerization of butadiene in the C4 fraction of oil pyrolysis. (2017). Patent No. i 2017 0031 (AZE).

13. A method for producing 1,4-cis polybutadiene. (1979). Patent No. 1066190 (USSR).

14. Catalyst for polymerization of diene and method of obtaining polydienes with the use of said catalyst. (1991). WO Patent № 1991002587 (07.03.1991).

15. Nasirov, F. A. (2003). Bifunctional nickel- or cobalt-containing catalyst-stabilizers for polybutadiene production and stabilization. (Part 1) Polymerization of butadiene with nickel- or cobalt- containing catalytic dithiosystems. Kinetic study and molecular mass-stereoregularity correlation. *Iranian Polymer Journal*, 12 (3), 217-235.

16. Abbasova, Kh. A., Agazade, Y. J., Bakhshiyeva, V. I., Rafiyeva, S. R., Tagiyeva, A. M., & Nasirov, F. A. (2021). Epoxidation of liquid polybutadienes. *Processes of Petrochemistry and Oil refining* 22(4), 519-529.

17. Preparation of Liquid Epoxides from Polydiolefins. (1966). Patent №3,253,000 (USA).

18. Jacobi, M. M., Neto, C. P., Schneider, C. G., Rocha, T. L. A. C., Alegre, P., & Schuster, R. H. (2002). Study of the Epoxidation of Polydiene. *Rubbers. Kautsch. Gummi Kunstst*, 52, 301.



Информация об авторах

Аббасов Вагиф Магеррам оглы, д.х.н., профессор, академик, генеральный директор, Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Насиров Физули Акбер оглы, д.х.н., заведующий лабораторией, Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Агазаде Егана Джамал кызы, д.х.н., гл.н.с., Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Аббасова Хаяла Адил кызы, с.н.с., Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Агамалиева Дурна Бабек кызы, к.х.н., заведующая лабораторией, Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Бахшиева Вюсали Ислам кызы, с.н.с., Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Рафиева Севда Рафи кызы, к.х.н., в.н.с., Институт нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Information about authors

Vagif M. Abbasov, Doctor of Chemistry, Professor, Academician, Director, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Fuzuli A. Nasirov, Doctor of Chemistry, Head of Laboratory, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Yegana J. Agazade, Doctor of Chemistry, Chief Researcher, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Khayala A. Abbasova, senior researcher, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Durna B. Aghamaliyeva, Ph.D. in Chemistry, Head of Laboratory, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Vusala I. Bakhshiyeva, senior researcher, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Sevda R. Rafieva, Ph.D. in Chemistry, leading researcher, Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

И.Е. Шпак, Л.Н. Ольшанская

Вода. Ее свойства и очистка

Объем издания: 13 п.л. (208 стр.)

Стоимость 320 руб.



Рассматриваются физические, химические, термодинамические свойства воды и основные требования, предъявляемые к ее качеству. Проанализированы способы очистки питьевой и сточных вод с использованием разнообразных схем и оборудования. Рассмотрено влияние различных факторов на эффективность процессов очистки и обобщены результаты практического применения основных методов.

Пособие предназначено для студентов специальностей «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Инженерная защита окружающей среды», «Экология», а также других экологических, технологических и технических специальностей. Может быть использовано инженерами-экологами промышленных предприятий; специалистами, работающими в комитетах по природопользованию, в санитарно-эпидемиологических центрах; научными работниками.



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-3

**Влияние некоторых солей алкилфенолсульфокислоты (АФСК)
на коррозию стали марки Ст10 в двухфазной системе 0,1 Н водный
раствор HCl – керосин в составе консервационных жидкостей**

Т.А. Алиев^{1✉}, К.З. Гусейнов², И.С. Мехтиев³

¹Институт природных ресурсов Нахичеванского отделения НАНА,
Азербайджан, Аз-7000, г. Нахичевань, проспект Г. Алиева, д. 35

²Бакинский Государственный университет,
Азербайджан, Аз-1148, г. Баку, ул. З. Халилова, д. 23

³Нахичеванский Государственный университет,
Азербайджан, Аз-700, г. Нахичевань, НГУ, Университетский городок, кафедра химии

e-mail: tofig_aliyev@yahoo.com

Аннотация. Гравиметрическим методом исследовано влияние магниевой, цинковой и бариевой солей алкилфенолсульфокислоты (условно обозначенные нами как *Mg*-НГПИ-2, *Zn*-НГПИ-2 и *Ba*-НГПИ-2) на коррозию стали марки Ст10 в двухфазной системе 0,1 Н водный раствор HCl – керосин, ранее исследованные нами по отношению стали марки Ст3. Установлено, что все исследованные соединения в диапазоне концентрации 25...200 мг/л эффективно защищают сталь Ст10 от коррозионного процесса в указанной системе. Показано, что в аналогичных условиях их эффективность отличается друг от друга незначительно, что связано с близостью строения ионов Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , а также с общим органическим анионом, роль которого в формировании защитной пленки решающая. Показано также, что коррозионные характеристики Ст10 в указанной системе очень близки к коррозионным характеристикам Ст3.

Ключевые слова: коррозионный процесс, скорость коррозии, ингибиторы коррозии, эффективность ингибирования коррозии.

Для цитирования: Алиев Т.А., Гусейнов К.З., Мехтиев И.С. Влияние некоторых солей алкилфенолсульфокислоты (АФСК) на коррозию стали марки Ст10 в двухфазной системе 0,1 Н водный раствор HCl – керосин // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 25-28. doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-3

Статья получена: 24.06.2022, опубликована 01.03.2023.

**Development of some AFSA salts of alkylphenol sulfuric acid
influence of St10 steel on corrosion process
in the 0,1 N HCl solution – kerosene system**

T.A. Aliyev^{1✉}, G.Z. Huseynov², I.S. Mehdiyev³

¹The Institute of Natural Resources of Nakhchivan Branch of ANAS,
35, Heydar Aliyev avenue, Nakhchivan, Az-7000, Azerbaijan

²Baku State University,
23, Zahid Khalilov st., Baku, Az-1148, Azerbaijan

³Nakhchivan State University,
University campus, Chemistry department, Nakhchivan, Az-7000, Azerbaijan

e-mail: tofig_aliyev@yahoo.com

Abstract. The effect of alkylphenol sulfuric acid on the corrosion process of St10 steel in the two-phase 0,1 N HCl solution – kerosene system of magnesium, zinc and barium salts, (conventionally indicated as *Mg*-НГПИ-2, *Zn*-НГПИ-2 and *Ba*-НГПИ-2) previously studied on St3 steel samples, was confirmed by gravimetric method. It was determined that, all of the compounds shown in the 25...200 mg/L concentration range significantly weakens the corrosion process of St10 steel in the mentioned two-phase acid system. It is shown that, their effectiveness in analogous conditions does not differ sharply from each other and this is also associated with the fact that the structures of the ions Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} do not differ sharply from each other, as well as with being

the same of organic anion, which has a decisive role in the adsorption process. It is also shown, that corrosion characteristics of St10 steel in the shown system are very close to each other.

Keywords: corrosion processes, corrosion rate, corrosion inhibitors, corrosion inhibition efficiency.

For citation: Aliyev, T. A., Huseynov, G. Z., & Mehdiyev, I. S. (2023). Development of some AFSA salts of alkylphenol sulfuric acid influence of St10 steel on corrosion process in the 0,1 N HCl solution – kerosene system. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28 (1), 25-28. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-3

Received: June 24, 2022. Published: March 01, 2023.

Введение

В настоящем времени в различных отраслях промышленности, в том числе нефтегазодобывающей, во многих технологических процессах в качестве рабочих сред используют различные кислоты или кислые среды. Так, солянокислотную обработку нефтяных и газовых скважин применяют для дополнительного притока нефти и газа. Вместе с этим, в нефтяной и газовой промышленности приходится иметь дело с кислыми природными водами, а в нефтеперерабатывающей – кислотами [1-4]. Поэтому защита от коррозии оборудования, работающего в условиях воздействия на металл кислых агрессивных сред, в том числе *HCl*, является важной задачей.

Известно также, что среди многочисленных методов борьбы с коррозией в различных областях промышленности, и, особенно, нефтегазодобывающей, ингибирование агрессивных сред является одним из наиболее простых и экономически выгодных методов.

Ранее нами исследовано влияние некоторых солей алкилфенолсульфокислоты (АФСК) на коррозию стали марки Ст3 в различных коррозионно-агрессивных системах [5-10].

Настоящая работа посвящена влиянию некоторых из этих солей на сталь марки Ст10 в системе 0,1 Н водный раствор *HCl* – керосин.

Методика гравиметрических экспериментов

Коррозионные испытания проводились гравиметрическим методом на образцах стали марки Ст10.

Образцы стали Ст10 размерами 30×20×3 мм зачищались наждачной бумагой различной дисперсности до блестящей поверхности. После этого образцы тщательно промывали в воде, высушивали, обезжиривали ацетоном (или этанолом), упаковывали в фильтровальную бумагу, выдерживали в

эксикаторе с влагопоглотителем в течение 24 часов и взвешивали на аналитических весах с точностью ± 0,0001 [7].

Методика экспериментов подробно описана в [7].

Скорость коррозии рассчитали по формуле (1):

$$K = \frac{\Delta m}{S\tau}, \quad (1)$$

где Δm – разность масс образцов до и после опытов (г);

S – площадь поверхности образцов (м²);

τ – время опытов (ч).

Коэффициент торможения вычисляли по формуле:

$$\gamma = \frac{K_0}{K_{inh}}, \quad (2)$$

где K_0 – скорость коррозии образца в отсутствие ингибитора;

K_{inh} – скорость коррозии образца в присутствии ингибитора (г·м⁻²·ч⁻¹).

Защитный эффект ингибитора рассчитывался по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_{inh}}{K_0} \cdot 100, \quad (3)$$

где K_0 и K_{inh} соответственно скорости коррозии в неингибируемых и ингибируемых растворах [1-7].

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных данных, полученные гравиметрическим методом, приведены в табл. Как видно из этих данных, все исследованные производные АФСК значительно снижают скорость коррозии Ст10 в системе 0,1 Н водный раствор *HCl* – керосин, начиная с незначительных концентраций. Так, ингибиторы *Mg*-НГПИ-2, *Zn*-НГПИ-2 и *Ba*-НГПИ-2 при концентрации 25 мг/л снижают скорость коррозии в 7,16 раз (от 6,16 г/м²·ч до 0,86 г/м²·ч), 7,33 раз

Таблица. Влияние некоторых солей алкилфенолсульфокислоты (АФСК) на коррозию стали марки Ст10 в двухфазной системе 0,1 N водный раствор HCl – керосин (соотношение объемов фаз 1:1)

Table. Effect of some salts of alkylphenol sulfuric acid on the corrosion process of St10 steel in 0,1 N HCl – kerosene system (the volume ratio of the phases is 1:1)

$C_{инг},$ мг·л ⁻¹ / $C_{инг},$ mg·l ⁻¹	Mg-НГПИ-2		Zn-НГПИ-2		Ba-НГПИ-2	
	Скорость коррозии, г·м ⁻² ·ч ⁻¹ / Corrosion rate, g·m ⁻² ·h ⁻¹	Z/γ, Защитный эффект (%), коэффициент торможения / Corrosion inhibition efficiency	Скорость коррозии, г·м ⁻² ·ч ⁻¹ / Corrosion rate, g·m ⁻² ·h ⁻¹	Z/γ, Защитный эффект (%), коэффициент торможения / Corrosion inhibition efficiency	Скорость коррозии, г·м ⁻² ·ч ⁻¹ / Corrosion rate, g·m ⁻² ·h ⁻¹	Z/γ, Защитный эффект (%), коэффициент торможения / Corrosion inhibition efficiency
0,00	6,16	-	6,16	-	6,16	-
25	0,86	86,04 / 7,16	0,84	86,36 / 7,33	0,66	89,29 / 9,35
50	0,54	91,23 / 11,41	0,49	92,05 / 12,57	0,39	93,67 / 15,80
100	0,38	93,83 / 16,21	0,32	94,81 / 19,25	0,30	95,13 / 20,53
200	0,18	97,08 / 34,22	0,16	97,40 / 38,5	0,16	97,40 / 38,5

(от 6,16 г/м²·ч до 0,84 г/м²·ч) и в 9,35 раз (от 6,16 г/м²·ч до 0,66 г/м²·ч) соответственно и показывают 86,04%, 86,36% и 89,29% защитный эффект.

Начиная с концентрации 50 мг/л, эти ингибиторы проявляют защитный эффект выше 90%. Так, при этой концентрации ингибиторы Mg-НГПИ-2, Zn-НГПИ-2 и Ba-НГПИ-2 снижают скорость коррозии в 11,41 раз, в 12,57 раз и в 15,80 раз соответственно и показывают 91,23%, 92,05% и 93,67% защитный эффект. С повышением концентрации указанных соединений до 100 мг/л и 200 мг/л защитный эффект также возрастает. При концентрации 200 мг/л наблюдаемый защитный эффект у обоих соединений составляет выше 97%, а коэффици-

циент торможения возрастает в 34,22, 38,5 и 38,5 раз соответственно.

Сравнивая данные, полученные для различных соединений в аналогичных условиях, нетрудно заметить, что их эффективность отличается друг от друга несущественно, что связано с близостью строения ионов Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , а также с общим органическим анионом, роль которого в формировании защитной плёнки решающая.

Сравнивая данные, относящихся к стали Ст10 с данными Ст3 в аналогичных условиях, можно заключить, что коррозионные характеристики этих марок стали очень близки друг к другу, а иногда различить их не представляется возможным.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что использование *Mg*-НГПИ-2, *Zn*-НГПИ-2 и *Ba*-НГПИ-2, а также сходных по составу с ним вещества в нефтегазодобывающей промышленности, в которой широко используются металлические конструкции из Ст3 и Ст10, способны повысить надёжность работы систем добычи, первичной обработки, хранения и транспортировки нефти и газового конденсата, а также исключить применение дорогостоящих импортных ингибиторов коррозии.

Литература

1. Алцыбеева А.И., Левина С.З. Ингибиторы коррозии металлов (справочник). – Л.: Химия, 1968. – 264 с.
2. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. – 144 с.
3. Иванов Е.С. Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах (справочник). – М.: Металлургия, 1996. – 175 с.
4. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. – М.: Химия, 1977. – 352 с.
5. Алиев Т.А. Влияние солей алкилфенолсульфоокислоты (АФС) на коррозию стали Ст3 в системе HCl – керосин // Физико-химическая механика материалов. – 2008. – № 5. – С. 69-74.
6. Алиев Т.А., Ashassi-Sorkhabi H., Гусейнов К.З., Seifzadeh D. Влияние некоторых солей алкилфенолсульфоокислоты на электрохимическое и коррозионное поведение Ст3 в системе 0,1N водный раствор HCl // Практика противокоррозионной защиты. – 2009. – № 2(52). – С. 50-55.
7. Алиев Т.А. Физико-химическое изучение процесса ингибирования стали от коррозии некоторыми производными фенола в двухфазной системе углеводород – электролит. Дис. канд. хим. наук. Баку. ИНФХ АН Азерб. ССР, 1988. – 177с.
8. Алиев Т.А. Исследование влияния про-

изводных алкилфенолсульфоокислоты на коррозию стали Ст-3 в системе 0,1N раствор HCl – керосин // Процессы нефтехимии и нефтепереработки. – 2008. – №1 (33). – С. 9-15.

9. Patent:200800141(Алиев Т.А.)

10. Patent: 20080142 (Алиев Т.А.)

References

1. Alchibiyeva, A. I., Levina, S. Z. (1968). *Corrosion inhibitors of metals*. (Reference book). Leningrad: Chemistry.
2. Reshetnikov, S. M. (1986). *Acid inhibitors of metals*. Leningrad: Chemistry.
3. Ivanov, E. S. (1996). *Corrosion inhibitors in acidic environments*. (Reference book). Moscow: Metallurgy.
4. Rosenfeld, I. L. (1977). *Corrosion inhibitors*. Moscow: Chemistry.
5. Aliyev, T. A. (2008). Influence of alkylphenol sulfuric acid and salts on corrosion of St3 steel in HCl – kerosene system. *Physico-chemical mechanics of metals*, (5), 69-74.
6. Aliyev, T. A., Ashassi-Sorkhabi, H., Huseyinov, K. Z., & Seyidzade, D. (2009). Influence of some salts of alkylphenol sulfuric acid on the electrochemical and corrosion parameters of St3 steel in 0,01N HCl solution medium. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, (2), 50-55.
7. Aliyev, T. A. (1988). *Investigation of the process of corrosion inhibition of steel in the 2-phase hydrocarbon electronic system of some phenol derivatives*. Dissertation for the Scientific Degree of Ph.D in Chemistry. Baku, Institute of Inorganic and Physical Chemistry of the Azerbaijan Academy of Sciences.
8. Aliyev, T. A. (2008). Investigation of the effect of alkylphenol sulfuric acid derivatives on the corrosion process of St3 steel in 0.1N HCl solution – kerosene system. *Petrochemistry and Petrochemical Processes*, (2), 9-15.
9. Patent 2008001441 (Aliyev T.A.).
10. Patent 20080142 (Aliyev T.A.).

Информация об авторах

Алиев Тофик Аббасали оглы, д.х.н., профессор, член корр. НАНА, генеральный директор, Институт природных ресурсов Нахичеванского отделения НАНА, г. Нахичевань, Азербайджан

Гусейнов Касум Зульфали оглы, д.х.н., профессор, Бакинский Государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Мехтиев Искендер Султан оглы, старший преподаватель, Нахичеванский Государственный университет, г. Нахичевань, Азербайджан

Information about authors

Tofiq A. Aliyev, Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of ANAS, Director of the Institute Natural resources of Nakhchivan Branch ANAS, Nakhchivan, Azerbaijan

Gasim Z. Huseynov, Doctor of Chemistry, Professor, Baku State University, Baku, Azerbaijan

Isgander S. Mehdiyev, Senior lecturer, Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan



МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

MATERIALS AND EQUIPMENT FOR CORROSION PROTECTION

doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-4

Очистка трубок теплообменника от солевых отложений

**А.Т. Тайекенова, А.К. Акурпекова[✉], А.Т. Тастемирова,
А.Н. Нефедов, О. Далелханулы**

АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского»,
050010, Казахстан, г. Алматы, ул. Кунаева, д. 142

e-mail: a.akurpekova@ifce.kz

Аннотация. Эксплуатация теплообменного оборудования сопряжена с образованием отложений накипи в результате кристаллизации солей кальция и магния. Эффективное удаление отложений до сих пор является актуальной задачей.

В работе представлены результаты исследования, в котором показано, что 10% сульфаминовая кислота растворяет осадок на 46% в трубке теплообменника ПП-1 химводоочистки (ХВО), при этом средняя скорость коррозии металла трубки теплообменника составляет 0,31 г/м²·ч. Отложения из трубок теплообменника ПП-1 ХВО, также подвергались растворению соляной кислотой. Известен способ получения ингибированной соляной кислоты, включающий ввод в нее азотсодержащего ингибитора коррозии. В качестве азотсодержащего ингибитора была использована тиомочевина. По результатам лабораторных испытаний было показано, что 20% соляная кислота с добавками тиомочевины 1%, 5%, 10%, 15% и 20% полностью растворяет осадок, при этом скорость коррозии металла трубки теплообменника была 0,685 г/м²·ч, 1,17 г/м²·ч, 2,12 г/м²·ч, 2,76 г/м²·ч, 4,79 г/м²·ч. Следует отметить отрицательное влияние цинка, присутствующего в латуни, на защитные свойства таких ингибиторов коррозии, как уротропин и тиомочевина, которые показывают хорошие защитные эффекты на чистых металлах (железо, медь). Это, по-видимому, объясняется его преимущественным растворением из сплава при контакте с кислотами и дальнейшим растворением самого основного металла. Оптимальное защитное действие ингибитора коррозии, оцениваемое в 55,2%, наблюдалось на медной пластинке, погруженной в раствор 5% соляной кислоты + 100 мг/дм³ ингибитора AZ 8104.

Ключевые слова: коррозия, отложения, латунная трубка, теплообменник, ингибитор коррозии, соляная кислота, тиомочевина, уротропин.

Для цитирования: Тайекенова А.Т., Акурпекова А.К., Тастемирова А.Т., Нефедов А.Н., Далелханулы О. Очистка трубок теплообменника от солевых отложений // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 29-42. doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-4

Статья получена: 21.11.2022, опубликована 01.03.2023.

Cleaning the heat exchanger pipes from salt deposit

**A.T. Tayekenova, A.K. Akurpekova[✉], A.T. Tastemirova,
A.N. Nefedov, O. Dalelhanuly**

JCS D.V. Sokolsky Institute of Fuel Catalysis and Electrochemistry,
142, Kunaeva st., Almaty, 050010, Kazakhstan

e-mail: a.akurpekova@ifce.kz

Abstract. The operation of heat exchange equipment is associated with the formation of scale deposits as a result of the crystallization of calcium and magnesium salts. Effective sediment removal is still a challenge.

The paper presents the results of a study that shows that 10% sulfamic acid dissolves the precipitate up to 46% in the PP-1 chemical water treatment (ChWT) heat exchanger tube, while the average corrosion rate of the heat exchanger tube metal is 0,31 g/m²·h. Deposits from the tubes of the PP-1 ChWT heat exchanger were also subjected to dissolution with hydrochloric acid. A known method for producing inhibited hydrochloric acid, including the introduction of a nitrogen-containing corrosion inhibitor. Thiourea was used as a nitrogen-containing inhibitor. According to the results of laboratory tests, it was shown that 20% hydrochloric acid with the addition of thiourea 1%, 5%, 10%, 15% and 20% completely dissolves the precipitate, while the corrosion rate of the metal of the heat exchanger tube was 0,685 g/m²·h, 1,17 g/m²·h, 2,12 g/m²·h, 2,76 g/m²·h, 4,79 g/m²·h. It should be noted the negative effect of zinc present in brass on the protective properties of such corrosion inhibitors as urotropine and thiourea, which show good protective effects on pure metals (iron, copper). This is apparently due to its predominant dissolution from the alloy upon contact with acids and further dissolution of the base metal itself. The optimum protective effect of a corrosion inhibitor of 55,2% was shown on a copper

plate immersed in a solution of 5% hydrochloric acid + 100 mg/dm³ of AZ 8104 inhibitor.

Keywords: corrosion, deposits, brass tube, heat exchanger, corrosion inhibitor, hydrochloric acid, thiourea, urotropine.

For citation: Tayekenova, A. T., Akurpekova, A. K., Tastemirova, A. T., Nefedov, A. N., & Dalelhanuly, O. (2023). Cleaning the heat exchanger pipes from salt deposit. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28 (1), 29-42. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-4

Received: November 21, 2022. Published: March 01, 2023.

Введение

В процессах нефтепереработки актуальной является проблема эффективности работы теплообменной аппаратуры. Данная проблема возникает при использовании водяных холодильников, в которых хладагентом является техническая вода, содержащая соли кальция и магния в присутствии карбонатов. Поверхность металла в месте контакта с водой, по ряду причин физико-химического характера, всегда претерпевает существенные изменения [1-4]. Если вода содержит избыточное количество кремниевых, сульфатных и карбонатно-кальциевых соединений, то внутренняя поверхность труб покрывается слоем твердых солевых отложений (CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 и др.), которые сужают проходное сечение, уменьшают теплопередачу теплообменников [5-7].

Накипь на трубах создает термическое сопротивление тепловому потоку, что ведет к снижению теплопроводности системы. В результате уменьшается теплоотдача и пропускная способность труб, что, в свою очередь, увеличивает энергетические затраты на теплообменных установках [8, 9].

Для решения этой задачи имеется множество различных способов, которые условно можно разделить на две большие группы: физико-химические и абразивные. Эти способы имеют ряд существенных недостатков и не всегда эффективны в условиях загрязнений оборудования нефтегазового комплекса [10-13]. По оценкам специалистов, до 40% металлоемкости нефтеперерабатывающего завода – это теплообменное оборудование. Очистка от внутренних загрязнений одного теплообменника во время проведения ремонтных работ занимает от трех до семи дней [14].

Для очистки от отложений, как правило, применяется различного рода кислотная обработка трубок теплообменников. При этом, наряду с эффективностью очистки, при кислотной обработке возникает про-

блема взаимодействия кислоты с металлом трубок теплообменника. Особенно актуальна эта проблема при использовании в качестве трубок теплообменника различного рода латуней [15-18].

В данной работе было выполнено исследование реагентов, применяемых для очистки от отложений трубок теплообменника, изготовленных из латуни.

Проблема, решаемая в работе, состояла в том, чтобы подобрать реагент, который бы эффективно удалял осадок и при этом слабо взаимодействовал с металлом трубки.

Экспериментальная часть

Для исследования были отобраны реальные трубки теплообменника ПП-1 ХВО (г. Атырау) с отложениями солей на внутренней поверхности металла.

Для растворения осадка были выбраны раствор сульфаминовой кислоты в дистиллированной воде с концентрацией 3, 5, 10% и ингибированная соляная кислота (раствор 5% соляной кислоты + 100 мг/дм³ ингибитора AZ 8104) [19, 20].

Химический состав металла трубок и отложений из теплообменника проводили методом рентгенофазового анализа (РФА) на аппарате D8 Advance (Bruker), Cu-K α , напряжение на трубке 40 кВ, ток 40 мА.

Обработка полученных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводили с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз проводили по программе Search/match с использованием базы порошковых дифрактометрических данных PDF-2 (ICDD).

Элементный анализ металла трубки теплообменника проводили на эмиссионном спектрометре СПАС-05.

Результаты и их обсуждение

На рис.1 показан разрез трубки теплообменника с отложениями.

В табл.1 приведены результаты фазово-



Рис. 1. Латунная трубка теплообменника с отложениями

Fig. 1. Brass tube heat exchanger with deposits



Рис. 2. Фрагмент трубы до обработки

Fig. 2. Pipe fragment before processing

го анализа отложений из трубки теплообменника.

Как видно из *табл. 1*, 97,2 % отложений составляют карбонаты кальция и магния.

В *табл. 2* представлены результаты элементного анализа металла трубки теплообменника. Как видно из *табл. 2*, содержание меди в латунной трубке составляет 64,14 %, а цинка 35,58%. Таким образом, металл трубки был идентифицирован как латунь (марка Л-63, ГОСТ 15527-2004).

Основные преимущества сульфаминовой кислоты – это ее эффективность, экономичность и простота в применении. Применяется для удаления накипи (карбонатных отложений) с теплообменной ап-

паратуры, радиаторов [21].

Образец металла трубки с отложениями помещался в химический стакан, в который добавлялся раствор сульфаминовой кислоты. Вид образца металла с отложениями до эксперимента представлен на *рис. 2*.

Для исследования кинетики растворения осадка каждые 3 мин выполнялся отбор проб раствора сульфаминовой кислоты, находящейся в контакте с металлом трубки с осадком, и проводился их анализ на общую жесткость и содержание ионов кальция. Результаты приведены на *рис. 3, 4*.

Как видно из *рис. 3*, после 33 мин вы-

Таблица 1. Результаты фазового анализа отложений трубки теплообменника

Table 1. Phase analysis results of heat exchanger tube deposits

Наименование / Name	Формула / Formula	Содержание, % / Content, %
Кальцит, магнезиальный / Calcite, Magnesian	$Mg_{0,1}Ca_{0,9}CO_3$	97,2
В-кварц оксид кремния / B-quartz Silicon Oxide	SiO_2	2,8

Таблица 2. Результаты элементного анализа металла трубки теплообменника

Table 2. Results of elemental analysis of the heat exchanger tube metal

Элементы / Elements	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Bi</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Sn</i>	<i>Sb</i>	<i>P</i>
Содержание, % / Content, %	64,14	35,58	0,05	0,10	0,1	0,002	0,008	0,001	0,013	0,003	0,005

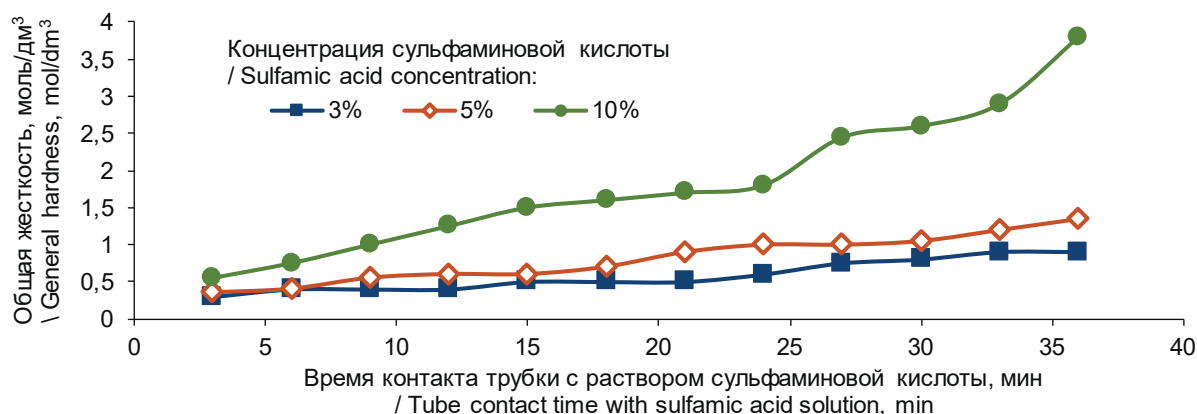


Рис. 3. Зависимость общей жесткости от времени контакта с сульфаминовой кислотой с концентрацией 3%, 5%, 10%

Fig. 3. The dependence of the total hardness on the time of contact with sulfamic acid with a concentration of 3%, 5%, 10%

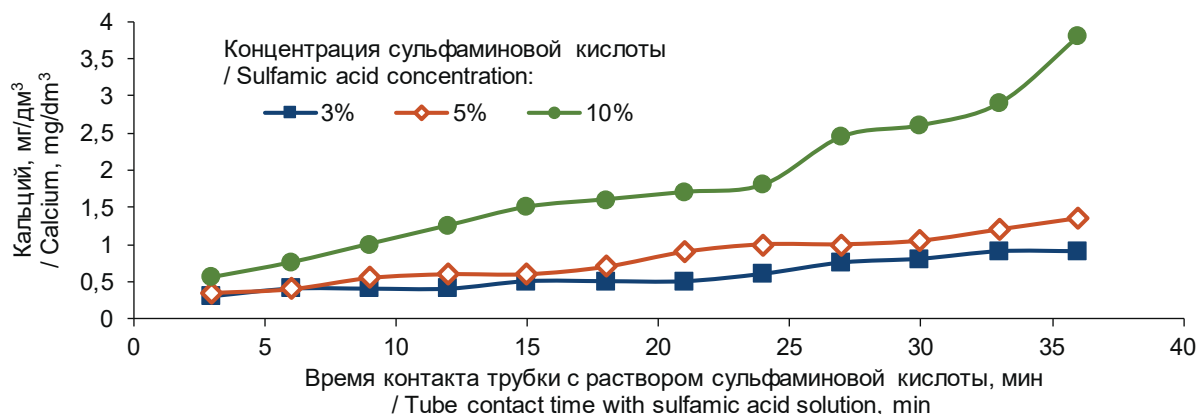


Рис. 4. Зависимость содержания ионов кальция от времени контакта с сульфаминовой кислотой с концентрацией 3%, 5%, 10%

Fig. 4. Dependence of the content of calcium ions on the time of contact with sulfamic acid with a concentration of 3%, 5%, 10%

держки образца в 3% и 5% сульфаминовой кислоте общая жесткость не изменялась, то есть осадок далее не растворялся. В 10% кислоте наблюдалось дальнейшее увеличение общей жесткости, что свидетельствовало о продолжении процесса растворения осадка.

На рис. 4 содержание ионов кальция в растворе изменялось аналогично данным рис. 3.

Из рис. 3, 4 видно, что полнота растворения осадка в 10% сульфаминовой кислоте заметно выше, чем в 3% и 5% растворах.

Состояние трубок после обработки растворами сульфаминовой кислоты

представлено на рис. 5.

Полнота растворения осадка (P) определялась путем взвешивания образца трубки с осадком до и после эксперимента и вычислялась по формуле:

$$P = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Величины полноты растворения осадка в растворах сульфаминовой кислоты с концентрацией 3%, 5%, 10% за 36 минут приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, растворы 3...10 % сульфаминовой кислоты удаляют осадки на 46% за время проведения эксперимента.

Определение величин скорости коррозии

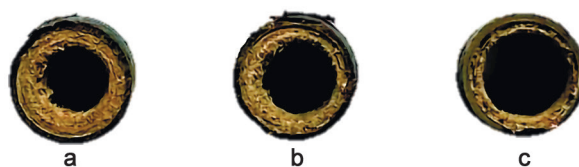


Рис. 5. Фрагменты трубы после обработки:
а – 3% сульфаминовой кислотой; б – 5% сульфаминовой кислотой;
с – 10% сульфаминовой кислотой

Fig. 5. Pipe fragments after treatment with
а – 3% sulfamic acid; б – 5% sulfamic acid; с – 10% sulfamic acid

Таблица 3. Полнота растворения осадка в растворах сульфаминовой кислоты
Table 3. Completeness of elapsed precipitation in solutions of sulfamic acid

Наименование / Name	Концентрация сульфаминовой кислоты, % / Sulfamic acid concentration, %		
	3	5	10
Полнота растворения осадка / Completeness of the departed sediment	28	40	46

металла трубок теплообменника в растворах сульфаминовой кислоты проводилось гравиметрическим методом. Время эксперимента 24 ч. Результаты приведены в табл. 4.

Раствор после коррозионного эксперимента имел голубой цвет, что свидетельствует о присутствии ионов Cu^{2+} . Для подтверждения был проведен качественный

анализ на наличие ионов Cu^{2+} .

Таким образом, было показано, что при слабом воздействии на металл трубок теплообменника сульфаминовая кислота недостаточно быстро растворяет отложения, присутствующие в трубках.

Известно, что соляная кислота достаточно быстро растворяет карбонаты кальция и магния. Поэтому был поставлен экспери-

Таблица 4. Скорость коррозии латунной трубки теплообменника в растворах сульфаминовой кислоты

Table 4. Corrosion rate of the brass tube of the heat exchanger in solutions of sulfamic acid

Раствор сульфаминовой кислоты, % / Solution of sulfamic acid, %	Средняя скорость коррозии, г/м ² ·ч / Average corrosion rate, g/m ² ·h
0	0,017
1	0,072
5	0,187
10	0,334

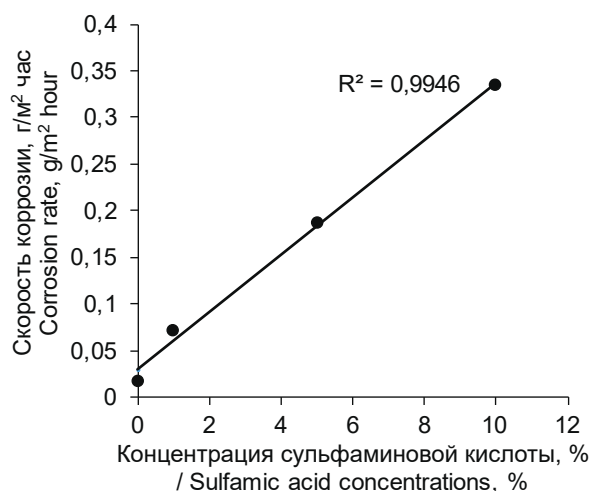


Рис. 6. Изменение скорости коррозии относительно концентрации сульфаминовой кислоты

Fig. 6. Change in corrosion rate relative to sulfamic acid concentration

мент по определению действия раствора соляной кислоты на осадки из трубок теплообменника. Для защиты от коррозионного воздействия кислоты на металл применяется введение в ее растворы ингибиторов коррозии.

Известен способ получения ингибированной соляной кислоты, включающий разбавление ее дистиллированной водой и ввод в нее азотсодержащего компонента [22], в ка-

честве которого была выбрана тиомочевина.

В нашей работе использовался 20% раствор соляной кислоты с добавками тиомочевины в концентрации 1%, 5%, 10%. Каждые 30 сек (из-за быстрого растворения осадка) отбиралась аликвотная часть данного раствора аналогично исследованию с сульфаминовой кислотой. Проводился анализ раствора на общую жесткость и содержание ионов кальция в растворе. Результаты приведены на рис. 7, 8.

Как видно из рис. 7, через 5 мин выдержки, практически во всех растворах соляной кислоты с добавками тиомочевины общая жесткость не менялась, т.е. осадок полностью растворялся. Аналогичная картина наблюдается на рис. 8, содержание ионов кальция на 5,5 минуте в растворе практически не растет.

На рис. 9-11 представлены фотографии трубок до и после обработки ингибированными растворами соляной кислоты.

Как видно из рис. 9-11, соляная кислота практически полностью удаляет осадки с внутренней поверхности трубок теплообменника.

Для установления влияния кислоты на металл трубок теплообменника был поставлен коррозионный эксперимент, аналогичный описанному ранее при исследовании влияния сульфаминовой кислоты на металл

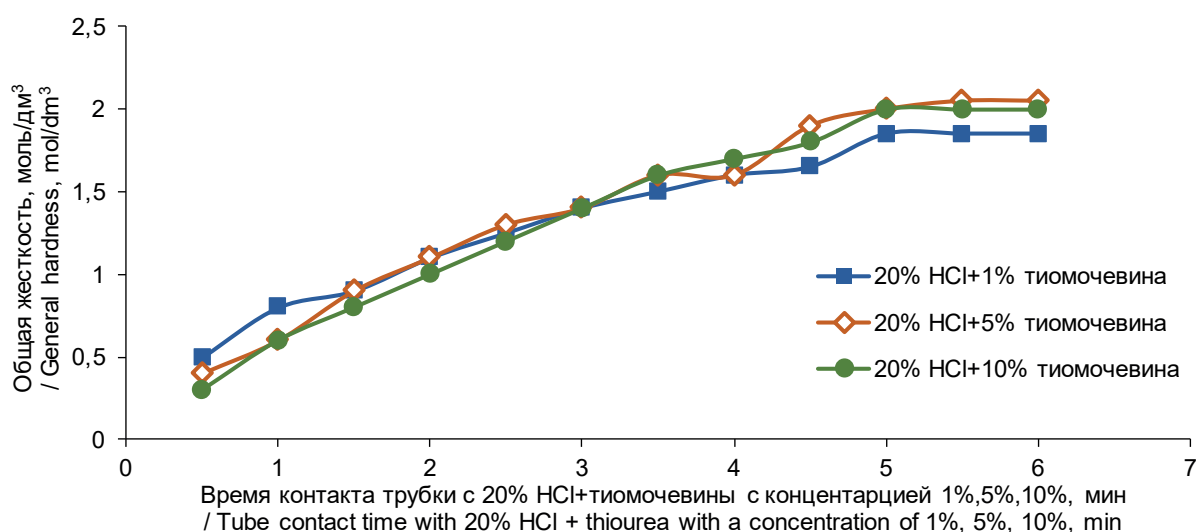


Рис. 7. Зависимость общей жесткости от времени контакта с 20% соляной кислотой с содержанием тиомочевины 1, 5, 10%, %

Fig. 7. Dependence of the total hardness on the time of contact with 20% hydrochloric acid with thiourea content 1, 5, 10%, %

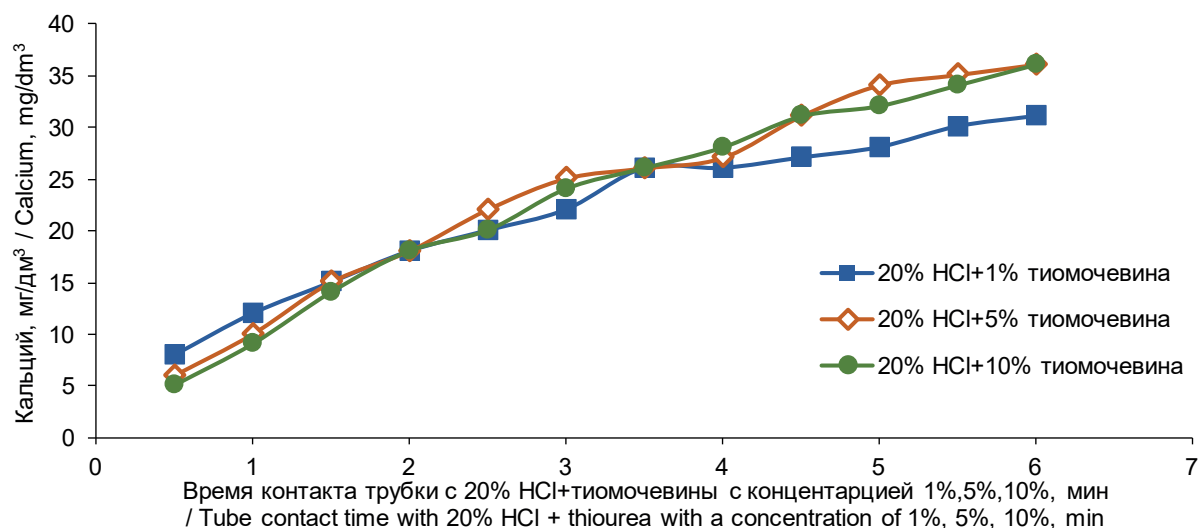
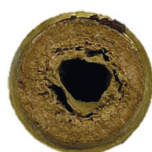


Рис. 8. Зависимость содержания ионов кальция от времени контакта с соляной кислотой 20% с содержанием тиомочевины 1, 5, 10 %, %

Fig. 8. Dependence of the content of calcium ions on the time of contact with hydrochloric acid 20% with thiourea content 1, 5, 10%, %



a



b

Рис. 9. Вид трубок теплообменника до и после обработки 20% раствором HCl с 1% тиомочевины

Fig. 9. View of heat exchanger tubes before and after treatment with 20% HCl solution with 1% thiourea



a



b

Рис. 10. Вид трубок теплообменника до и после обработки 20% раствором HCl с 5% тиомочевины

Fig. 10. View of the heat exchanger tubes before and after treatment with 20% HCl solution with 5% thiourea



Рис. 11. Вид трубок теплообменника до и после обработки 20% раствором HCl с 10% тиомочевины

Fig. 11. View of the heat exchanger tubes before and after treatment with 20% HCl solution with 10% thiourea

трубок. Результаты приведены в *табл. 5*.

Как видно из *табл. 5*, средняя скорость коррозии латуни снижается только при концентрации тиомочевины 1%, и значительно возрастает при дальнейшем увеличении ее концентрации в растворе кислоты.

При взаимодействии соляной кислоты 20% + тиомочевины 1% с латунью образовались отложения бело-зеленоватого цвета на стенках трубки. Результаты фазового анализа отложений приведены в *табл. 6*.

Как видно из *табл. 6*, в осадках присутствуют серо- и азотсодержащие соединения меди и цинка - компонентов латуни.

Исходя из этого, для более медленно-

го и безопасного взаимодействия латуни с раствором соляной кислоты, был исследован раствор соляной кислоты с концентрацией 5%, в качестве ингибирующей добавки был выбран уротропин.

В *табл. 7* представлены результаты определения скорости коррозии латуни в 5% растворе соляной кислоты с добавкой уротропина в концентрации 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0%.

Как видно из *табл. 7*, скорость коррозии латуни также возрастает при увеличении концентрации уротропина.

Для сравнения в аналогичных условиях определялась средняя скорость коррозии

Таблица 5. Средняя скорость коррозии латунной трубки в растворе соляной кислоты 20% с содержанием тиомочевины 1%, 5%, 10%, 15%, 20%

Table 5. Average corrosion rate of a brass tube in a solution of hydrochloric acid 20% with thiourea content 1%, 5%, 10%, 15%, 20%

Раствор ингибированной кислоты / Solution of inhibited acid	Средняя скорость коррозии, $г/м^2 \cdot ч$ / Average corrosion rate, $g/m^2 \cdot h$
Соляная кислота 20% / Hydrochloric acid 20%	0,83
Соляная кислота 20% + тиомочевина 1% / Hydrochloric acid 20% + thiourea 1%	0,68
Соляная кислота 20% + тиомочевина 5% / Hydrochloric acid 20% + thiourea 5%	1,17
Соляная кислота 20% + тиомочевина 10% / Hydrochloric acid 20% + thiourea 10%	2,12
Соляная кислота 20% + тиомочевина 15% / Hydrochloric acid 20% + thiourea 15%	2,76
Соляная кислота 20% + тиомочевина 20% / Hydrochloric acid 20% + thiourea 20%	4,79

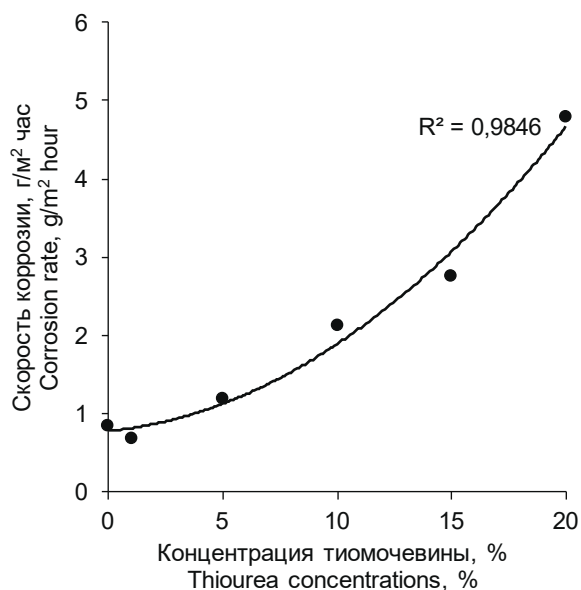


Рис. 12. Изменение скорости коррозии относительно к концентрации тиомочевины

Fig. 12. Change in corrosion rate relative to the concentration of thiourea

меди. Результаты приведены в *табл. 8*.

Как видно из данных *табл. 8*, при увеличении концентрации уротропина скорость коррозии уменьшается от 0,8335 г/м²·ч в растворе 5% кислоты без добавки уротропина до 0,4088 г/м²·ч с добавкой 1% уротропина.

Определения степени (*Z*) защиты образца вычислялась по формуле [23]:

$$Z = \left[\frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} \right] \cdot 100\%, \quad (2)$$

где ρ_1 , ρ_2 – массовый показатель скорости коррозии металла в среде без ингибитора и с ингибитором.

Как видно из *табл. 9* защитное действие уротропина в условиях коррозионного эксперимента в растворе соляной кислоты 5% + уротропин 1,0% составляет до 50,6 %. Для сравнения были исследованы растворы соляной кислоты 5% с добавками промышленного ингибитора коррозии AZ 8104. Условия коррозионного эксперимента аналогичны

Таблица 6. Фазовый анализ отложений на латуни после коррозионного эксперимента

Table 6. Phase analysis of deposits on brass after a corrosion experiment

Наименование / Name	Формула / Formula	Содержание, % / Content, %
Гидрат тиомочевины хлорида меди / Copper Chloride Thiourea Hydrate	$CH_4ClCuN_2S \cdot 0,5H_2O$	33,9
Тетрацианоборат меди / Copper tetracyanoborate	$Cu(B(CN)_4)$	14,0
Диэтилендиамин нитрат меди / Diethylenediamine copper nitrate	$C_4H_{16}CuN_6O_6$	12,7
Дитиопертиокарбонатокупрат триметиламмония (I) / Trimethylammonium dithioperthiocarbonatocuprate (I)	$((CH_3)_3NH)(Cu(CS_2(S_2)))$	9,6
Оксид бора / Boron Oxide	B_2O	9,0
Хлорид цинка сульфид / Zinc Chloride Sulfide	$Zn_6S_5Cl_2$	5,3
Сульфид цинка / Zinc Sulfide	ZnS	5,0
Нитрогуанидин / Nitroguanidine	$(NH_2)_2CNNO_2$	4,4

Таблица 7. Средняя скорость коррозии латунной трубки в 5% растворе соляной кислоты и с добавкой 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,1%,% уротропина

Table 7. Average corrosion rate of a brass tube in a hydrochloric acid solution of 5% and with concentrations of urotropine 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,1%,%

Раствор ингибированной кислоты / Solution of inhibited acid	Средняя скорость коррозии, г/м ² ·ч / Average corrosion rate, g/m ² ·h
Соляная кислота 5% / Hydrochloric acid 5%	0,38
Соляная кислота 5% + уротропин 0,1% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,1%	0,44
Соляная кислота 5% + уротропин 0,3% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,3%	0,31
Соляная кислота 5% + уротропин 0,5% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,5%	0,40
Соляная кислота 5% + уротропин 0,7% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,7%	0,41
Соляная кислота 5% + тиомочевина 1,0% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 1,0%	0,67

Таблица 8. Средняя скорость коррозии меди в 5% растворе соляной кислоты и с концентрацией уротропина 0,1; 0,5; 1,0 %,%

Table 8. The average speed of a copper plate in a 5% solution of hydrochloric acid and with concentrations of urotropine 0.1; 0.5; 1.0%,%

Раствор ингибированной кислоты / Solution of inhibited acid	Средняя скорость коррозии, г/м ² ·ч / Average corrosion rate, g/m ² ·h
Соляная кислота 5% / Hydrochloric acid 5%	0,83
Соляная кислота 5% + уротропин 0,1% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,1%	0,61
Соляная кислота 5% + уротропин 0,5% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,5%	0,52
Соляная кислота 5% + тиомочевина 1,0% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 1,0%	0,41

Таблица 9. Защитное действие растворов соляной кислоты 5% с разной концентрацией уротропина для медной пластинки

Table 9. Protective effect of 5% hydrochloric acid solutions with different concentrations of urotropine for a copper plate

Раствор ингибированной кислоты / Solution of inhibited acid	Защитное действие, % / Protective action, %
Соляная кислота 5% + уротропин 0,1% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,1%	26,5
Соляная кислота 5% + уротропин 0,5% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 0,5%	37,3
Соляная кислота 5% + тиомочевина 1,0% / Hydrochloric acid 5% + urotropine 1,0%	50,6

Таблица 10. Средняя скорость коррозии меди в 5% растворе соляной кислоты 5% и добавками ингибитора AZ 8104

Table 10. Average speed of a copper plate in a 5% solution of hydrochloric acid 5% and additions of inhibitor AZ 8104

Раствор ингибированной кислоты / Solution of inhibited acid		Средняя скорость коррозии, г/м ² ·ч / Average corrosion rate, g/m ² ·h
Соляная кислота 5% / Hydrochloric acid 5%		0,62
Соляная кислота 5% + ингибитор AZ 8104	25 мг/дм ³ 25 mg/dm ³	0,39
Соляная кислота 5% + ингибитор AZ 8104	50 мг/дм ³ 50 mg/dm ³	0,30
Соляная кислота 5% + ингибитор AZ 8104	100 мг/дм ³ 100 mg/dm ³	0,28

Таблица 11. Защитное действие растворов 5% соляной кислоты с ингибитором AZ 8104

Table 11. Protective effect of 5% hydrochloric acid solutions with AZ 8104 inhibitor

Раствор ингибированной кислоты / Solution of inhibited acid		Защитное действие, % / Protective action, %
Соляная кислота 5% + ингибитор AZ 8104	25 мг/дм ³ 25 mg/dm ³	37,1
Соляная кислота 5% + ингибитор AZ 8104	50 мг/дм ³ 50 mg/dm ³	51,6
Соляная кислота 5% + ингибитор AZ 8104	100 мг/дм ³ 100 mg/dm ³	54,8

вышеприведенным данным для коррозионного эксперимента с сульфаминовой кислотой. Результаты приведены в табл. 10.

Как видно из табл. 10, при увеличении концентрации ингибитора скорость коррозии уменьшается.

Величины защитного действия ингибированных растворов соляной кислоты с ингибитором коррозии AZ 8104 приведены в табл. 11. Как видно из табл. 11, величина защитного действия ингибитора AZ 8104 в растворе 5% соляной кислоты составила на медной пластинке 54,8%.

Следует отметить отрицательное влияние цинка, присутствующего в латуни, на защитные свойства таких ингибиторов коррозии как уротропин и тиомочевина, которые показывают хорошие защитные эффекты на чистых металлах (железо, медь). Это, по-видимому, объясняется его преимущественным растворением из сплава при контакте с кислотами и дальнейшем раство-

рением самого основного металла.

Литература

1. Жилин В.Н., Ильин Д.Н. Очистка воды и защита систем водо- и теплоснабжения от коррозии, отложений // Энергоресурсосбережение и энергоэффективность. – 2009. – № 6 (30). – С. 23-27.
2. Рейтинг лучших средств и жидкостей для промывки систем отопления на 2021 год [Электронный ресурс]. URL: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-sredstv-i-zhidkostej-dlya-promyvki-sistem-otopleniya/#i-11> (дата обращения: 21.03.2021).
3. Ковальчук В.И., Михалев Д.Н. Повышение эффективности котлов и теплообменников за счет уменьшения отложений накипи // Труды Одесского политехнического университета. – 2006. – № 1. – С. 56-58.
4. Захарьчев С.П., Позынич К.П., Готов М.В. Очистка от накипи теплотехнического оборудования и трубопроводов горячего во-

доснабжения термодинамически активированной водой // Вестник ТОГУ. – 2017. – № 2. – С. 81-90.

5. Мифтахова Д.Р. Дисперсный метод промывки системы отопления // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 8. – С. 7-16.

6. Патент № 2270967. Способ очистки теплообменника от накипи / Фильцов И.Г., Бармин И.В., Шерман А.М. Заявл. № 2003131131/12 22.10.2006; опубл. 27.02.2006. Бюл. № 6.

7. Жилин В. Н., Ильин Д. Н. Очистка воды и защита систем водо- и теплоснабжения от коррозии, отложений // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2009. – № 6. – С. 27-31.

8. Жилин В.Н., Ильин Д.Н. Термодинамический способ защиты оборудования систем теплоснабжения от коррозии и отложений // Новосты теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 31-35.

9. Чичириков А.А. [и др.] Комплексная реагентная обработка воды системы технического водоснабжения с градирнями на ТЭС // Труды Академэнерго. – 2012. – № 1. – С. 90-100.

10. Кишневицкий В.А. Современные методы обработки воды в энергетике. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 196 с.

11. Тебенихин Е.Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. — М.: Энергия, 1977. – 184 с.

12. Gozzi M. Электродинамические декальцификаторы // RCI. – 2000. – № 4. – С. 8-14.

13. Пискунов Е.Н. Ультразвуковые устройства USP для удаления накипи в системах теплоснабжения // Сантехника. – 2002. – № 4. – С. 16-17.

14. Иванов В.В., Жедяевский Д.Н., Мельников В.Б., Пименов Ю.Г. Лабораторные исследования возможности очистки теплообменного оборудования нефтегазового комплекса при помощи волновых технологий // Газовая промышленность. – 2019. – № 6. – С.112-118.

15. Михалев Д.М. Способ очистки внутренней поверхности теплообменного аппарата // Бюл. ГДИС. – 2002. – № 9. – С. 1-8.

16. Галутин В.З., Антонов В.А., Волк Г.М. Ультразвуковое устройство для очистки и защиты теплоагрегатов от отложений // Патент РФ № 2196646, 20.01.2003.

17. Владимиров А.И., Мельников В.Б.,

Пименов Ю.Г., Погодаев А.В., Юсупов И.Ф., Китаев С.М., Ушаков С.В. Способ предотвращения образования гидратных и гидратоуглеводородных отложений в скважине // Патент РФ № 2327855, 10.02.2008.

18. Владимиров А.И., Мельников В.Б., Пименов Ю.Г., Погодаев А.В., Юсупов И.Ф., Китаев С.М., Ушаков С.В. Способ ликвидации гидратных, газогидратных и гидратоуглеводородных отложений в скважине // Патент РФ № 2320851, 27.03.2008.

19. Zaferani S.H., Sharifi M., Zaarei D., Shishesaz M.R. Application of eco-friendly products as corrosion inhibitors for metals in acid pickling processes // Environ Chem Eng. – 2013. – № 1. – P. 652-657.

20. Антониевич М.М. Петрович М.Б. Ингибиторы коррозии меди. Обзор // Electrochem Sci. – 2008. – № 3. – С. 1-28.

21. Kirk Othmer, Yoshikubo K.; Suzuki M. Sulfamic acid and sulfamates // Encyclopedia of Chemical Technology. – 3rd edn. – 1983. – V. 21. – P. 742.

22. Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш., Килинбаева А.С., Халикова О.Д. Оценка ингибирующей способности ингибитора на основе имидазолина // Химия и технология переработки нефти и газа. – 2015. – № 1. – С. 74-78.

23. Скопина Д.С., Пятанова П.А. Исследование защитных свойств «зеленых» ингибиторов для предотвращения коррозии сплавов алюминия в щелочной среде // Молодёжь третьего тысячелетия: материалы конф. (01-26 апреля 2020). – Омск, 2020. – С. 1085-1089.

References

1. Zhilin, V. N., Il'in, D. N. (2009). Water purification and protection of water and heat supply systems from corrosion, deposits. *Energy and resource saving and energy efficiency*, 6 (30), 23-27.

2. Rating of the best means and liquids for flushing heating systems for 2021. Electronic resource. URL: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-sredstv-i-zhidkostej-dlya-promyvki-sistem-otopleniya> (accessed 21.03.2021).

3. Kovalchuk, V. I., Mikhalev, D. N. (2006). Improving the efficiency of boilers and heat exchangers by reducing scale deposits. *Proceedings of the Odessa Polytechnic University*, (1), 56-58.

4. Zakharychev, S. P., Pozynich, K. P., & Glotov, M. V. (2017). Descaling of heat engineering equipment and pipelines of hot water supply with thermodynamically activated water. *Bulletin of TOGU*, (2), 81-90.
5. Miftakhova, D. R. (2016). Dispersion method of flushing the heating system. *Construction of unique buildings and structures*, (8), 7-16.
6. Filtsov, I. G., Barmin, I. V., & Sherman, A. M. Method for cleaning the heat exchanger from scale. Pat. № 2270967 Rus. Federation, publ. 27.02.2006.
7. Zhilin, V. N., Ilyin, D. N. (2009). Water purification and protection of water and heat supply systems from corrosion, deposits. *Energy security and energy saving*, (6), 27-31.
8. Zhilin, V. N., Ilyin, D. N. (2010). Thermodynamic method of protection of equipment of heat supply systems from corrosion and deposits. *Novosti teplosnabzheniya*, (2), 31-35.
9. Chichirov, A. A. (2012). Complex reagent water treatment of service water supply system with cooling towers at thermal power plants. *Proceedings of Academenergo*, (1), 90-100.
10. Kishnevsky, V. A. (1999). *Modern methods of water treatment in the energy sector*. Odessa: OGPU.
11. Tebenikhin, E. F. (1977). *Reagent-free methods of water treatment in power plants*. Moscow: Energy.
12. Gozzi, M. (2000). Electrodynamic Decalcifiers. *RCI*, (4), 8-14.
13. Piskunov, E. N. (2002). Ultrasonic devices USP for descaling in heat supply systems. *Sanitary engineering*, (4), 16-17.
14. Ivanov, V. V., Zhedyaevsky, D. N., Melnikov V.B., & Pimenov, Yu. G. (2019). Laboratory studies of the possibility of cleaning heat-exchange equipment of the oil and gas complex using wave technologies. *Gas industry*, (6), 112-118.
15. Mikhalev, D. M. (2002). The method of cleaning the inner surface of the heat. *Bull. GDIS*, (9), 1-8.
16. Galutin, V. Z. Antonov, V. A., & Volk, G. M. Ultrasonic device for cleaning and protecting heat units from deposits., Pat. № 2196646. Rus. Federation, publ. 20.01.2003.
17. Vladimirov, A. I., Melnikov, V. B., Pimenov, Yu. G., Pogodaev, A. V., Yusupov, I. F., Kitaev, S. M., & Ushakov, S. V. A method for preventing the formation of hydrate and hydrate hydrocarbon deposits in a well. Pat. № 2327855 Rus. Federation, publ. 10.02.2008.
18. Vladimirov, A. I., Melnikov, V. B., Pimenov, Yu. G., Pogodaev, A. V., Yusupov, I. F., Kitaev, S. M., & Ushakov, S. V. A method for eliminating hydrate, gas hydrate and hydrate hydrocarbon deposits in a well. Pat. № 2320851 Rus. Federation, publ. 10.02.2008.
19. Zaferani, S. H., Sharifi, M., Zaare, D., & Shishesaz, M. R. (2013). The use of environmentally friendly products as metal corrosion inhibitors in acid pickling processes. *Chem. English*, (1), 652-657.
20. Antonievich, M. M., Petrovich, M. B. (2008). *Copper corrosion inhibitors*, (3), 1-28.
21. Kirk Othmer, Yoshikubo, K.; & Suzuki, M. (1983) Sulfamic acid and sulfamates. *Encyclopedia of chemical technology*, 21, 742.
22. Khafizov, I. F., Khafizov, F. Sh., Kilinbaeva, A. S., & Khalikova, O. D. (2015). Evaluation of the inhibitory ability of an inhibitor based on imidazoline. *Chemistry and technology of oil and gas processing*, (1), 74-78.
23. Skopina, D. S., Pyatanova, P. A. (2020, April 01-26). Study of the protective properties of "green" inhibitors to prevent corrosion of aluminum alloys in an alkaline environment. In *"Youth of the Third Millennium" Conference Proceedings*. Russia, Omsk, 1085-1089.

Информация об авторах

Тайекенова Арайлым Толегенкызы, старший инженер Центра компетенций по проблемам коррозии Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, г. Алматы, Казахстан

Акурпекова Алтынай Кадыржановна, к.х.н., зав. лаб. Центра компетенций по проблемам коррозии Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, г. Алматы, Казахстан

Тастемирова Айдана Тургалиевна, ведущий инженер Центра компетенций по проблемам коррозии Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, г. Алматы, Казахстан

Александр Николаевич Неведов, к.х.н., руководитель Центра компетенций по проблемам коррозии Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, г. Алматы, Казахстан

Далелханулы Оркен, старший инженер Центра компетенций по проблемам коррозии Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, г. Алматы, Казахстан

Information about authors

Arailym T. Taiekenova, Senior Engineer of the Competence Center for Corrosion Problems of the D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan

Altynai K. Akurpekova, Ph.D. in Chemistry, Head of research laboratory of the Competence Center for Corrosion Problems of the D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan

Aidana T. Tastemirova, Lead Engineer of the Competence Center for Corrosion Problems of the D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan

Alexander N. Nefedov, Ph.D. in Chemistry, Head of the Competence Center for Corrosion Problems of the D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan

Orken Dalelhanuly, Senior Engineer of the Competence Center for Corrosion Problems of the D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan

В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель,
Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля

Защита металлов от атмосферной коррозии масляными покрытиями

Объем издания: 14,5 п.л. (232 стр.)
Стоимость 520 руб.

В монографии обобщены литературные данные и результаты собственных исследований авторов, проводимых ими более пятнадцати лет и касающихся кинетики реакции восстановления растворенного кислорода и анодной ионизации металлов под тонкими пленками влаги и защитных неметаллических покрытий на основе товарных и отработанных нефтяных и синтетических масел.

Приводится классификация и свойства широкого круга защитных неметаллических составов. Рассматриваются атмосферная коррозия некоторых конструкционных материалов, защитные свойства композиций, содержащих полиамиды, безоксидная пассивация стали азотсодержащими соединениями – компонентами масляных фаз, результаты многолетних промышленных испытаний эффективности некоторых антикоррозионных покрытий подобного рода.

Впервые в отечественной литературе приводятся подобные данные для поли- α -олефиновых синтетических масел и их тонких поверхностных пленок на основе Мобил-1. Сообщаются вязкостнотемпературные и реологические характеристики неингибированных и ингибированных защитных масляных композиций и тонких пленок, их влаго- и кислородопроницаемость и структура.

Рассматривается кинетика электродных процессов на углеродистой стали, покрытой масляными пленками в нейтральных и кислых хлоридных средах с изменяющейся и постоянной ионной силой. Оцениваются кинетические параметры электродных реакций в подобных условиях.



**КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА
ОТ КОРРОЗИИ – ОБЩИЕ ВОПРОСЫ**

**CORROSION AND PROTECTION
AGAINST CORROSION –
GENERAL ISSUE**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-5

Об определяющей роли биопленок микроорганизмов в инициировании и развитии микробиологической коррозии металлов (часть 2)

Д.В. Белов ✉, С.Н. Беляев

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН,
РФ, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46

e-mail: belov.denbel2013@yandex.ru

Аннотация. Надежность технических изделий определяется их стойкостью к воздействию внешней среды, естественной составляющей которой являются микроорганизмы-деструкторы (бактерии, дрожжи, микроскопические грибы и др.).

Низкая эффективность защиты металлов от биокоррозии во многом связана с недостаточной изученностью всех аспектов повреждающего воздействия микроорганизмов. Отсутствуют количественные данные о процессах биоповреждения элементов техники в реальных условиях эксплуатации. К настоящему времени не разработаны достоверные методы диагностики и прогнозирования долговечности металлов и их конструкций в условиях взаимодействия с объектами живой природы.

В данной работе сделана попытка объяснить роль биопленок микроскопических грибов, как важного фактора микробиологической коррозии металлов. Образование и накопление коррозионно-активной среды возможно в результате процессов метаболизма микроскопических грибов, формирующих биопленку. Детальное установление механизма биокоррозии металлов представляет собой комплексную научную задачу.

Целью статьи является анализ экспериментальных данных по изучению аэробной биокоррозии металлов, опосредованной метаболической активностью биопленок бактерий и микроскопических грибов.

Ключевые слова: микробиологическая коррозия, микромицетная коррозия, микробиологическая коррозия, биокоррозия металлов, бактериальная биопленка, биопленка микроскопических грибов, микромицетная биопленка, адгезия микроорганизмов, метаболомика.

Для цитирования: Белов Д.В., Беляев С.Н. Об определяющей роли биопленок микроорганизмов в инициировании и развитии микробиологической коррозии металлов (часть 2) // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 43-58. doi: 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-5

Статья получена: 12.04.2022, опубликована 01.03.2023.

On the decisive role of biofilms of microorganisms in the initiation and development of microbiological corrosion of metals (part 2)

D.V. Belov ✉, S.N. Belyaev

Federal Research Center Institute of Applied Physics of RAS,
46, Ul'yanov Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

e-mail: belov.denbel2013@yandex.ru

Abstract. The reliability of technical products is determined by their resistance to the influence of the external environment, the natural component of which are destructor microorganisms (bacteria, yeast, microscopic fungi, etc.).

The low efficiency of protecting metals from biocorrosion is largely due to insufficient knowledge of all aspects of the damaging effects of microorganisms. There are no quantitative data on the processes of biodamage of equipment elements in real operating conditions. To date, reliable methods for diagnosing and predicting the durability of metals and their structures under conditions of interaction with wildlife have not been developed.

In this work, an attempt was made to explain the role of biofilms of microscopic fungi as the important factor in the mycological corrosion of metals. The formation and accumulation of a corrosive medium is possible as a result of the metabolic processes of microscopic fungi that form a biofilm. A detailed determination of the mechanism of biocorrosion of metals is a complex scientific problem.

The purpose of this article is to analyze experimental data on the study of aerobic biocorrosion of metals mediated by the metabolic activity of biofilms of bacteria and microscopic fungi.

Keywords: microbiological corrosion, micromycete corrosion, mycological corrosion, metal biocorrosion, bacterial biofilm, microfungus biofilm, micromycete biofilm, adhesion of microorganisms, metabolomics.

For citation: Belov, D. V., Belyaev, S. N. (2023). On the decisive role of biofilms of microorganisms in the initiation

and development of microbiological corrosion of metals (part 2). *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28(1), 43-58. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-5

Received: April 12, 2022. Published: March 01, 2023.

2. Биопленки микроскопических грибов (микромикетные биопленки)

Рост и развитие микромикетов на поверхности металлов оказывает большое влияние на их структурную целостность. Коррозионное разрушение металлических поверхностей определяется продуцируемыми ими метаболитами, что позволяет микромикетам быстро адаптироваться к новым условиям окружающей среды и питания. Большинство микроскопических грибов, растущих на металлических поверхностях, способны вовлекать металлы в процессы функционального роста и метаболизма. Существуют различные точки зрения на механизмы микромикетной коррозии: образование биопленок, образование коррозионно-активной среды в результате протекания различных метаболитических процессов, протекание электрохимических процессов, вызванных ростом и развитием клеток микромикетов на металлических поверхностях, образование коррозионных ячеек дифференциальной аэрации [80, 81].

Возникновение микромикетных биопленок вызывает серьезные опасения у медиков. Грибковые биопленки представляют собой гетерогенные поверхностно-ассоциированные колонии, состоящие из нитевидных гиф (цепочек удлинённых клеток), псевдогифальных клеток, дрожжеподобных клеток и различных форм внеклеточного матрикса. Они представляют собой высокоорганизованное, ассоциированное с поверхностью микробное сообщество. Их роль в развитии биологии инфекции заключается в том, что образование биопленок на имплантированных устройствах является основной причиной рецидивирующей инфекции в организме.

Наличие в организме человека разнообразных медицинских имплантов (катетеров, протезов, кардиостимуляторов, сердечных клапанов и др.) является основным фактором риска инфекционного заражения. Эти инфекции возникают в результате прикрепления микробов к поверхностям имплантов и формирования в этих местах биопленки [82]. Среди грибов

наиболее распространенными колонизаторами имплантов являются различные роды *Candida* [83], *Fusarium* [84] *Histoplasma* [85]. Клетки, составляющие настоящую биопленку, имеют фенотипы, отличные от фенотипов одиночных планктонных клеток [86].

Одной из самых многочисленных причин заражения внутрибольничными инфекциями у лиц с ослабленным иммунитетом является микромикет *Aspergillus fumigatus*, который легко колонизирует имплантированные медицинские устройства. Вдыхаемые конидиоспоры могут прикрепиться к легочной ткани или тканям верхних дыхательных путей, прорасти там и образовать биопленку. Этот мицелиальный гриб ответственен примерно за 90% случаев инвазивного аспергиллеза – тяжелого инфекционного заболевания, характеризующегося высокой смертностью. Колонизация *Aspergillus* и образование биопленки преимущественно происходит у пациентов с генетическими функциональными аномалиями легких, такими как муковисцидоз или хроническая обструктивная болезнь легких. Биопленки *Aspergillus* могут поражать различные биоматериалы, такие как катетеры, протезы, кардиостимуляторы, сердечные клапаны, грудные имплантаты. Кроме того, сферическая масса гиф, называемая аспергилломой, может образовываться в дыхательных или мочевыводящих путях. Все клинические противогрибковые препараты значительно менее эффективны в условиях биопленки или сферических гиф, что свидетельствует о необходимости высоких дозировок или комбинированной противогрибковой терапии [87]. Доказана способность микромикета *Aspergillus fumigatus* образовывать многоклеточное сообщество [88, 89].

К настоящему времени способность колонизировать разнообразные поверхности и образовывать биопленки продемонстрировано широким спектром грибов, например, такие как дрожжеподобные грибы *Cryptococcus* (род грибов отдела базидиомицетов); виды *Rhodotorula* (род одноклеточных пигментированных дрожжей); *Aspergillus* (род высших аэробных

плесневых грибов); дрожжеподобные грибы: *Pneumocystis jirovecii*, *Malassezia pachydermatis*, *Histoplasma capsulatum*; *Paracoccidioides brasiliensis* (вид диморфных грибов семейства *Ajellomycetaceae*); *Coccidioides* (род диморфных аскомицетов семейства *Onygenaceae*, обитающий в почве); виды *Fusarium* (род аскомицетовых грибов); *Trichosporon* (род анаморфных грибов семейства *Trichosporonaceae*); грибы порядка *Mucorales*. Существует необходимость в получении конкретных характеристик биопленок этих грибов. Для биопленок характерна ограниченная чувствительность к лекарственным препаратам, что чрезвычайно затрудняет лечение инфекции [90]. Серьезной проблемой является контроль образования биопленок, что, в свою очередь, требует знания механизмов их образования [91].

Особенности строения микромицетов. Характерные черты морфологии и метаболизма микроскопических грибов во многом определяются их осмотрофным типом питания – они всасывают питательные вещества из субстрата всем телом (талломом). Таллом устроен таким образом, чтобы максимальное число клеток имело контакт с субстратом. Самой распространенной формой грибов является система тонких, сильно разветвленных нитей – гиф, называемая мицелием (рис. 2). Гифы могут быть разделены септами на клетки (клеточный мицелий) или не иметь септ (неклеточный мицелий). Как правило, гифы имеют неограниченный верхушечный рост как первичной гифы, так и боковых ветвей. Из мицелия формируются почти все известные грибные структуры: плодовые тела, покоящиеся видоизменения (склеротии, хламидоспоры), проводящие и поддерживающие структуры (синнемы, тяжи, ризоморфы), инфекционные структуры (аппрессории, гаустории, ловчие гифы) [92].

Мицелиальная форма тела наиболее пригодна для максимальной оккупации субстрата. Поскольку большинство природных органических соединений являются биополимерами (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты и др.) и не способны проникать в клетку через ее покровы, грибы развили способность выделять в субстрат гидролитические экзоферменты.

Питательные вещества в грибную клет-

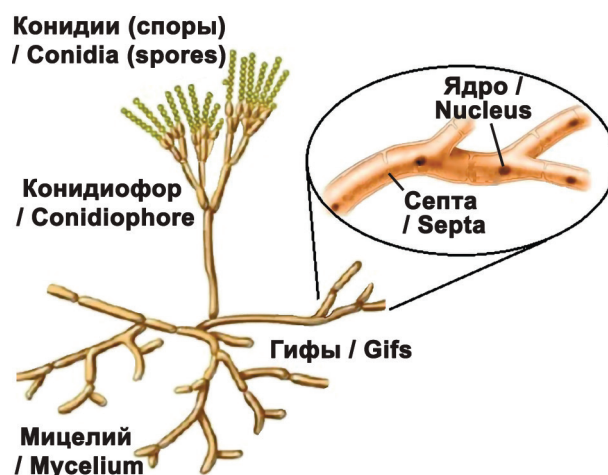


Рис. 2. Схематическое представление строения мицелиальных грибов

Fig. 2. Schematic representation of the structure of filamentous fungi

ку из окружающей среды транспортируются несколькими способами: движением по градиенту концентрации; за счет внутриклеточного тургорного давления (с его помощью растворенные в воде органические вещества всасываются в клетки). В среднем, осмотическое давление, развиваемое гифой, составляет около 2,5 атм. Оно также необходимо грибам для продвижения в плотном субстрате. Плотная полисахаридная стенка, покрывающая грибные клетки, не только защищает клетки от разрывов наружной мембраны вследствие высокого внутриклеточного тургорного давления, но и ослабляет возможности передачи этого давления на окружающий гифы субстрат. Третьим путем транспорта являются специальные белки-переносчики, связанные с мембраной клеток, которые специфически транспортируют необходимые вещества внутрь клетки из окружающей среды и обратно. Микроскопические грибы обладают высокоспецифическими метаболическими способностями, которые позволяют им занимать определенные экологические ниши, используя для жизнедеятельности молекулы, недоступные для других организмов. Возможность использования общего субстрата привела к тому, что многие грибы получили способность синтезировать ряд специфических ферментов деградации. Среди них

есть виды, которые являются универсальными по своим потребностям в питательных веществах. Определенные ферменты производятся и высвобождаются вблизи кончика гифы. Для этого необходимо наличие водной среды. Некоторые ферменты активно выводятся через плазматическую мембрану, где они диффундируют через клеточную стенку.

Грибы обладают способностью выживать в окружающей среде в условиях различных стрессов. Подобно бактериям, грибы могут метаболизировать ряд источников углерода. Однако они могут расти и развиваться в условиях дефицита его источников. Сообщается, что грибы растут в средах, богатых тяжелыми металлами, например, в шахтах добычи полезных ископаемых. Фундаментальное значение грибы имеют в геологических процессах. В наземных аэробных экосистемах грибы принимают непосредственное участие в биогеохимических преобразованиях в локальном и глобальном масштабах (почвы, горные породы и минералы) [93]. Они участвуют в преобразовании горных пород и минералов, биовыветривании, микогенном образовании минералов, преобразовании и круговороте химических элементов.

Повышенной выживаемостью в условиях стресса окружающей среды обладают меланинсодержащие грибы. Меланины содержат различные функциональные группы, которые обеспечивают множество неэквивалентных мест связывания ионов тяжелых металлов. В исследовании [94] было показано, что пигментированный микромицет *Cladosporium cladosporoides* биосорбирует ионы никеля, меди, цинка, кадмия и свинца в 2,5...4 раза больше, чем его альбинос, и в 4...6 раз выше, чем непигментированный *Penicillium digitatum*. Десорбция ионов металлов была значительно выше для биомассы непигментированных грибов, что указывает на прочность связи меланин – металл.

Как показывает анализ литературных данных, мицелиальные грибы постоянно обнаруживаются в различных водных средах, включая системы распределения питьевой воды. Хотя большинство работ сосредоточено на изучении планктонной формы, исследования показали, что микроскопические грибы образуют биопленку внутри этих систем. В состав биопленки, выделенной из

воды, входили микромицеты: *Aspergillus sp.*, *Alternaria sp.*, *Botrytis sp.*, *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.* [95].

Строение биопленки микромицетов. Мицелиальные грибы могут организовывать многоклеточные консорциумы, которые создают устойчивые сообщества на различных биотических и абиотических поверхностях.

Микроскопические грибы оказывают большое влияние на структурную целостность материалов, с поверхностью которых они консолидированы (рис. 3). Их влияние на материалы определяется выделяемыми (продуцируемыми) ими метаболитами, которые позволяют микромицетам адаптироваться к новым условиям окружающей среды и питания. О способности микроскопических грибов адаптироваться к металлическим поверхностям сведений крайне мало. Хотя очевидно, что большинство микромицетов, активно развивающихся на металлических поверхностях и инициирующих их коррозию, способны воздействовать на них, вовлекая ту или иную форму металла в свой метаболизм или используя электроны металла для физиологически важных процессов.

Модель образования биопленок микроскопическими грибами (рис. 4) включает несколько стадий [96]:

- адсорбция споры (диаспоры) – любого элемента, способного дать начало новому мицелию. Фрагментация мицелия – это наиболее простой и распространенный способ вегетативного размножения микроскопических грибов. Он заключается в отделении от мицелия неспециализированных частей, способных дать начало новому мицелию;
- прикрепление (адгезия) к поверхности. Адгезия – это широко распространенное явление, присущее многим микроорганизмам, позволяющее им колонизировать свои среды обитания. Адгезия опосредована большим количеством дифференциально регулируемых адгезинов, связанных с клеточной стенкой;
- образование микроколоний;
- созревание или репродуктивное развитие;
- дисперсионная или планктонная фаза.

Атака микромицетов на поверхность металла характеризуется инвазивным (от лат. *invasio* – нашествие, нападение) ростом

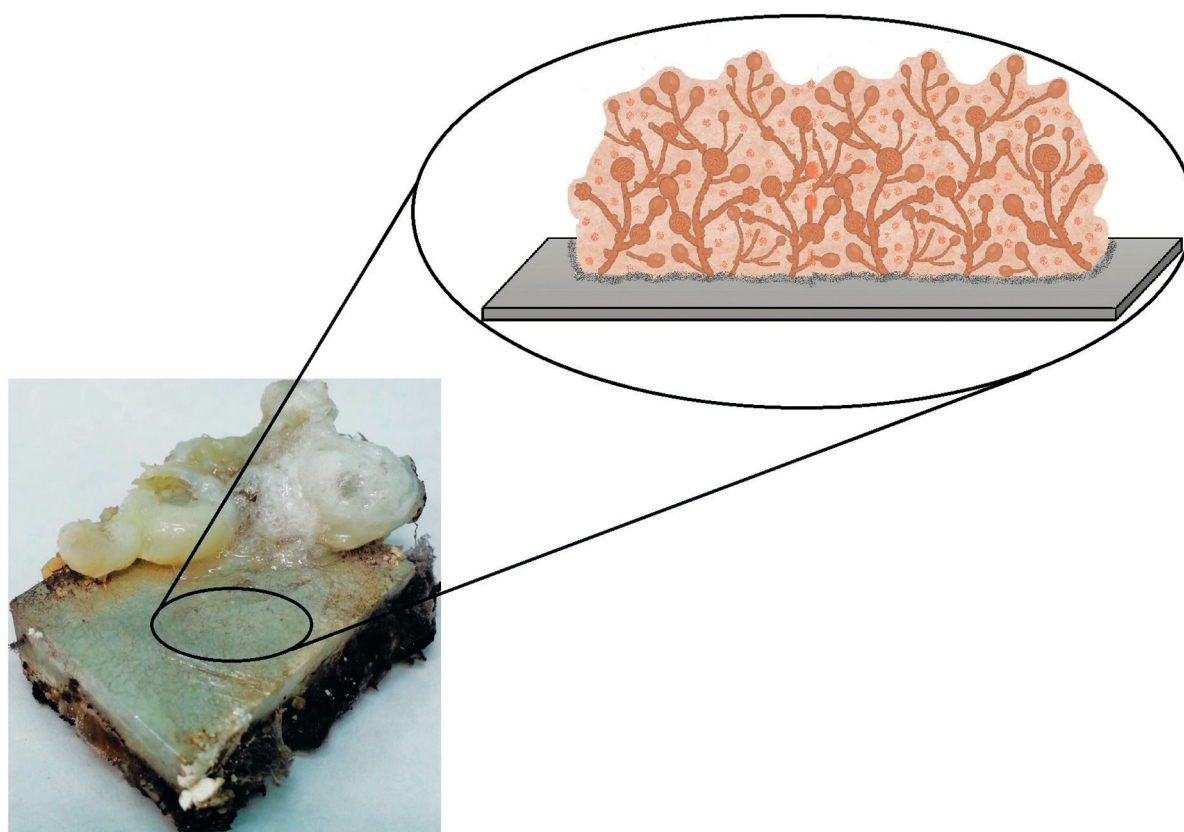


Рис. 3. Схематическое представление биопленки микромицетов на поверхности металла

Fig. 3. Schematic representation of a biofilm of micromycetes on a metal surface

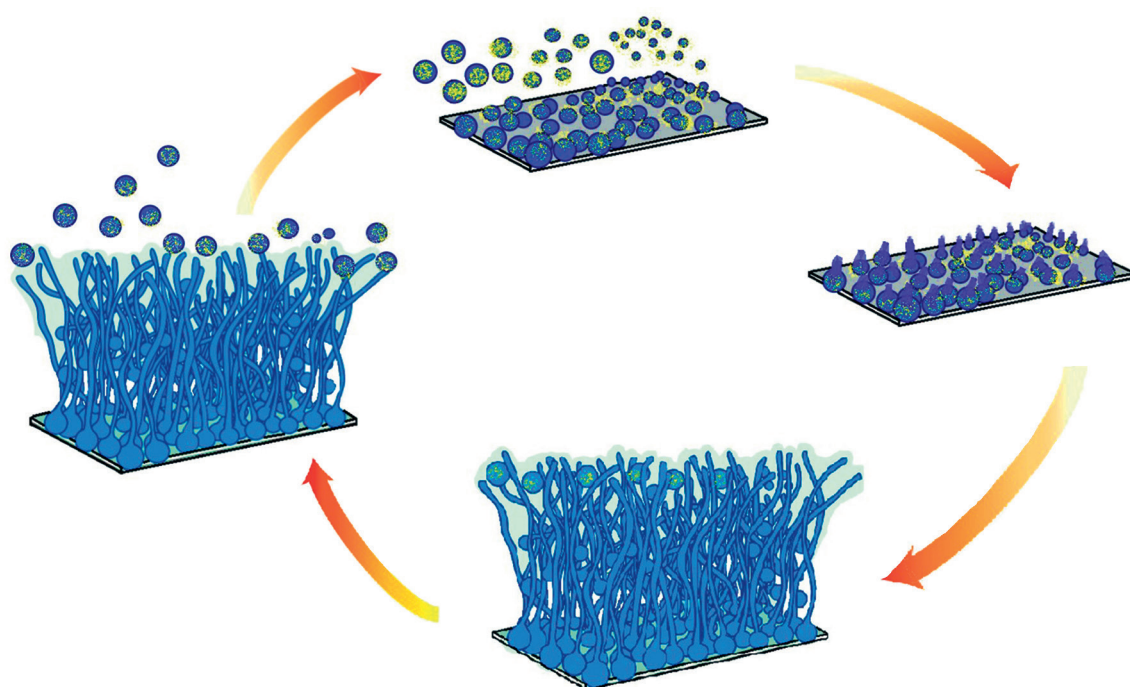


Рис. 4. Схема колонизации субстрата микроскопическими грибами с образованием биопленки

Fig. 4. Scheme of colonization of the substrate by microscopic fungi with the formation of a biofilm

микроорганизма. Протеолитические, липолитические ферменты грибов (протеазы, гиалуронидаза, фосфолипаза, липаза и др.) участвуют в разрушении поверхностных структурных элементов защитной пленки на поверхности металла и реализуют не только начальный момент развития поражения – адгезию к поверхности металла, но и дальнейшую ее колонизацию, инвазию и пенетрацию (от лат. *penetratio* – проникать). Дальнейшая пенетрация мицелия реализуется за счет действия литических ферментов клеток микромицетов [97].

Уникальные особенности, связанные с биологией грибов, отличают их биопленки от биопленок дрожжей и бактерий: грибы обычно имеют более одной планктонной формы, т.е. половые и бесполое споры, спорангии, и фрагменты гиф. Рост гиф характеризуется дву- или трехмерностью, что достигается за счет ветвления. Формирование ветвей обеспечивает большую регуляцию роста, в то время как бактериальный одноклеточный рост характеризуется колониями [98].

Адгезия. Микромицеты в окружающей среде существуют в определенном биоценозе. Микрофлора биоценоза способна оказывать различное влияние на развитие и свойства составляющих его микроорганизмов. Изучение адгезии микромицетов рода *Fusarium* в монокультурах и при совместном культивировании с другими мицелиальными грибами родов *Aspergillus* и *Penicillium* показало увеличение их адгезивной способности. Результаты исследований подтвердили факт влияния окружающей среды на адгезивные свойства микромицетов.

Процессу адсорбции микроорганизмов присущи некоторые черты, характерные и для других адсорбционных процессов, хотя явление и отличается рядом специфических особенностей. Поэтому термин «адсорбция микроорганизмов» применяется до некоторой степени условно. Сила, удерживающая клетки микробов на поверхности, зависит не только от свойств поверхности, но и от природы адсорбируемого микроорганизма.

На рис. 5 приведены фотографии биопленок микроскопических грибов на поверхностях образцов меди, титана и алюминия.

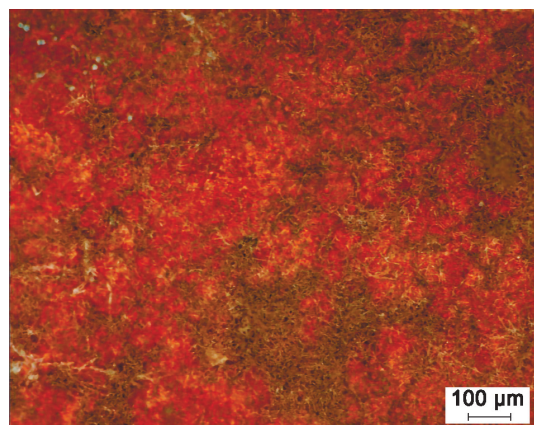
Первым важнейшим этапом адгезии считается неспецифическое взаимодействие

поверхностей клетки и субстрата, когда наибольшую роль играют электростатические и гидрофобные взаимодействия. Это адгезионное взаимодействие усиливается за счет образования химических связей, взаимодействия рецепторов и изменения конформации клеток. Специфичность клеточной адгезии определяется наличием на ее поверхности определенных структур – адгезинов. Адгезины – это участки поверхности грибов (белки, углеводные части маннопротеинов клеточной стенки и др.), обеспечивающие прикрепление микроорганизма к твердому субстрату. Адгезины микромицетов различаются по специфичности и дают им возможность фиксироваться на разных лигандах и сайтах связывания.

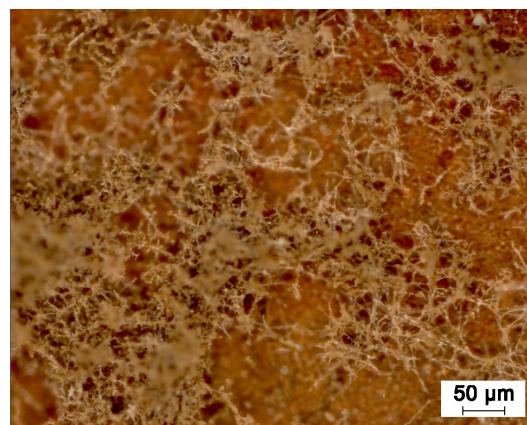
В настоящее время, под термином адгезия понимают не только прикрепление клеток к твердой поверхности, но и их прорастание, с использованием носителя, как субстрата. Явление адгезии установлено для самых различных групп микроорганизмов, включая бактерии, актиномицеты, дрожжи, микромицеты. Давно известно, что при развитии на большинстве естественных субстратов (почвы, илы, грунты и пр.), а также при искусственном культивировании (плотные питательные среды), клетки микроорганизмов меняют своеобразие своей жизнедеятельности [99, 100].

Способность к адгезии зависит от множества факторов, в том числе, от свойств самого микроорганизма, свойств адсорбента, химических и физических факторов среды и других. Например, в работе [101] исследовались адгезионные свойства микромицетов рода *Fusarium* в зависимости от состава питательной среды культивирования и присутствия в среде культивирования других микромицетов. Результаты исследований показали, что адгезионные свойства штаммов рода *Fusarium* зависят от состава питательной среды культивирования. Установлено, что адгезионные свойства исследованных микромицетов лучше проявляются у штаммов, выращенных на более бедной среде (голодный агар) по углеводным компонентам среды.

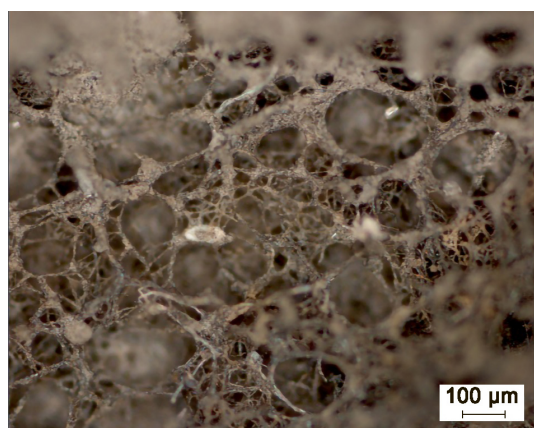
Следует отметить, что адгезия клеток многих микроорганизмов и спор грибов, имеющих в водных средах отрицательный



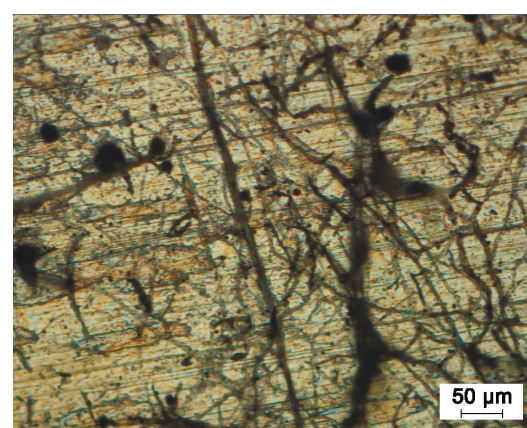
1



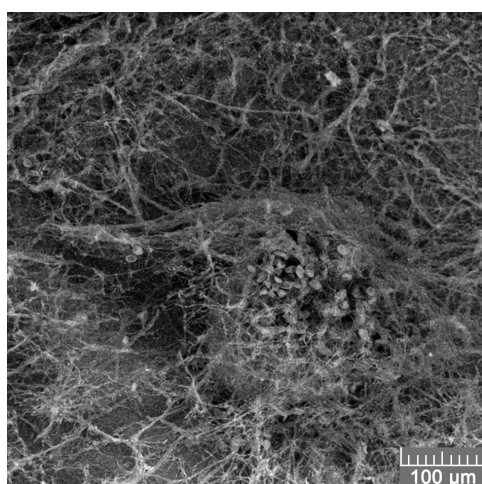
2



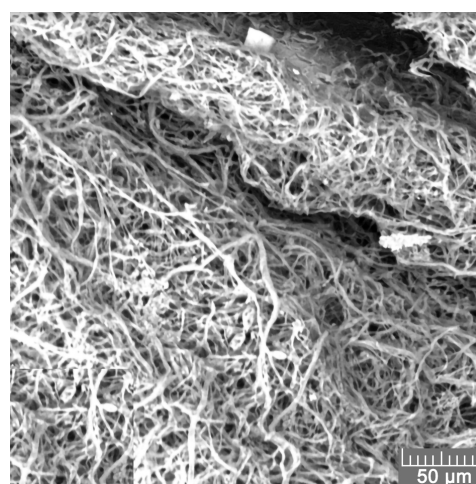
3



4



5



6

Рис. 5. Биопленки консорциумов микромицетов на поверхности металлов:
1, 2 – медь; 3, 4 – титан; 5, 6 – алюминий

Fig. 5. Biofilms of consortiums of micromycetes on the surface of metals:
1, 2 – copper; 3, 4 – titanium; 5, 6 – aluminum

заряд, наиболее эффективно происходит на поверхностях, обладающих электроположительным зарядом. Однако набор таких адсорбентов весьма ограничен [102, 103].

Внеклеточный матрикс. Производство внеклеточного матрикса является одной из отличительных характеристик как эукариотических, так и прокариотических биопленок [104]. Внеклеточный матрикс имеет большое значение для образования биопленки, обеспечивая каркас для поверхностной адгезии и клеточной агрегации для поддержания архитектуры биопленки. У некоторых организмов матрикс помогает удерживать воду и поглощать питательные вещества. Кроме того, материал может разлагаться в условиях ограничения питательных веществ ферментами, вырабатываемыми микроорганизмами [105]. Одним из наиболее важных свойств внеклеточного матрикса является его способность обеспечивать защиту от воздействий окружающей среды.

Анализ структуры биопленок показал [106, 107], что они состоят из гиф, образующих трехмерную структуру, покрытую плотным внеклеточным матриксом, состоящим из остатков галактоманнана (гетерополисахарид, состоящий из остатков галактозы и маннозы), α -1,3-глюкана, полиолов, меланина и белков гидрофобов. Предполагается, что эти гидрофобные поверхностно-активные белки, обычно связанные с воздушным ростом, играют роль в межклеточной адгезии в биопленке.

О роли биопленок микроскопических грибов в биокоррозии металлов. Широко известно, что микроскопические грибы способны поражать многие металлические конструкционные материалы, вызывая их повреждения и разрушение. Они участвуют в коррозии многих металлов и их сплавов, используемых при строительстве зданий и сооружений, применяемых в пищевой и фармацевтической промышленности, изготовлении автомобилей и самолетов [108].

Сообщается о микромицетной коррозии некоторых алюминиевых сплавов, подверженных воздействию микромицетов *Aspergillus fumigatus* и *Acremonium kiliense* [109, 110]. Широко изучается вопрос микробиологической коррозии цинка, алюминиевых сплавов в условиях воздействия микро-

мицета *Aspergillus niger* [111-114]. В работе [115] отмечено, что образование колоний *Aspergillus niger* и их окраска определяются концентрацией кислорода в слое оксида металла. Как отмечают авторы статьи [116], коррозия алюминиевых сплавов, вызываемая микроскопическими грибами, считается типичной причиной выхода из строя авиационных материалов, но ее механизм до сих пор до конца не ясен. В работе исследована коррозия сплава AA 7075, вызванная микромицетом *Aspergillus terreus* в искусственных условиях, имитирующих морскую воду. По результатам исследований, *A. terreus* может существовать при недостатке органического углерода и образовывать биопленку на поверхности сплава, а затем провоцировать его коррозию. Авторы отмечают, что воздействие органических кислот *A. terreus* не вносит существенного вклада в ускорение коррозии алюминиевых сплавов. Под действием микромицета разрушается пассивная пленка алюминиевых сплавов, что приведет к росту очагов питтинговой коррозии.

Одними из основных метаболитов, образуемых микроскопическими грибами для противодействия токсичности ионов тяжелых металлов, являются органические кислоты. Большое количество микромицетов выделяют щавелевую кислоту, которая вступает в реакцию с металлами и сплавами, превращая их в оксалаты. Помимо структурных повреждений поверхности, органические кислоты снижают токсичность этих металлов [117].

В работе [118] были исследованы сапротрофные грибы на предмет их биовоздействия на минерал группы апатита – ванадинит $[Pb_5(VO_4)_3Cl]$. Микромицеты оказывали на минерал как биохимическое, так и биофизическое воздействие, включая травление поверхности, проникновение в структуру минерала и образование новых соединений. При биовыщелачивании природного и синтетического ванадинита *Aspergillus niger* осаждал оксалат свинца. Авторы сделали предположение об определяющей роли щавелевой кислоты в биовыщелачивании минералов и в общей грибковой трансформации свинецсодержащих минералов группы апатита.

В работе [119] сообщается, что микромицеты *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum*

способны расти на среде Чапека-Докса с добавлением повышенных концентраций фунгицида оксихлорида меди. О солюбилизации фунгицида в питательной среде свидетельствовало появление прозрачной зоны (гало) вокруг растущих колоний. Как показали результаты исследований, грибы обладают различными механизмами устойчивости к фунгициду, в том числе за счет комплексобразования и осаждения меди. Это еще раз подчеркивает важность грибов в преобразовании нерастворимых неорганических металлосодержащих соединений, которые потенциально могут участвовать в биогеохимическом круговороте металлов.

Как известно, для развития микроскопических грибов необходимы питательные вещества и повышенная влажность. Однако источниками питания микромицетов могут выступать различные органические вещества. Микроорганизмы – биодеструкторы способны быстро адаптироваться к условиям внешней среды, а также к различным защитным материалам, как к источникам питания. Показано, что развитие микромицетов на органических материалах, используемых для защиты, приводит к образованию органических кислот и, как следствие, локальной коррозии тросов из углеродистой стали в поливинилхлоридной оболочке [120, 121].

Показано, что разнообразные грибы способны вызывать серьезные коррозионные повреждения резервуаров для хранения нефти и трубопроводов для ее транспортировки [122]. Как отмечают авторы статьи, микромицеты способны производить большое количество биомассы и синтезировать пероксиды и органические кислоты, вызывая серьезные повреждения металлических поверхностей, что способствует загрязнению и биоразложению топлива.

О механизмах биокоррозии металлов. Универсального механизма биокоррозии не существует. Вместо этого существует множество механизмов, некоторые из них описаны и количественно охарактеризованы. Поэтому поиск универсальных механизмов представляется нецелесообразным, но вполне разумным представляется поиск свидетельств специфического, четко определенного микробного участия в коррозии металлов.

На наш взгляд, микромицетная коррозия металлов в общем случае должна включать ряд стадий, среди которых: адгезия мицелия микромицетов, рост и развитие микроорганизмов, образование коррозионно-активных метаболитов, инициирующих и стимулирующих разрушение металла.

В работе [123] показано, что биопленки непосредственно вызывают коррозию металлов. За счет увеличения массопереноса реагентов и продуктов коррозии изменяется кинетика процесса коррозии. Важным аспектом в оценке механизмов микробной коррозии является доказательство влияния микробных реакций на коррозионные процессы и идентификация продуктов этих реакций на поверхности корродирующих металлов.

Биопленки микромицетов являются одним из наиболее важных факторов биокоррозии металлов. Биопленки могут изолировать часть колонизированной поверхности металла от окружающей среды, создавая локальные пограничные зоны, бескислородные или высокощелочные микрозоны или микроучастки поверхности. Биопленки микромицетов содержат вещества, обладающие сильными и специфически хелатирующими ионы металлов свойствами. Поэтому биопленки микромицетов способны к сорбции катионов, анионов и органических веществ в зависимости от природы производимых биопленкой внеклеточных полимеров.

Процессы, происходящие с участием микромицетов, образующих сообщества, прежде всего, зависят от субстрата и типа оксида металла, образующего поверхностные защитные пленки на металле. Иницирование окислительных реакций может происходить после диффузии кислорода в толщу микробного сообщества, в то время как серия восстановительных реакций может происходить в зависимости от того, какие акцепторы электронов доступны в окружающей среде и на поверхности оксида металла.

Что касается связи этого с химией поверхности, следует отметить, что двойной слой, представляющий интерес для моделирования границ раздела оксид металла и водный раствор, имеет толщину порядка 3...5 Å, а область вышележащего растворителя может простираться до 20...30 Å, в то время как размер клеток мицелия микро-

мицетов составляет десятки микрометров (сотни тысяч Å), что во много раз толще. Поэтому биопленка микромицетов становится почти бесконечным расстоянием до поверхности металла. В связи с этим, биопленки представляют несомненный интерес с точки зрения химии межфазных границ и поверхностей. Дальнейшее усложнение строения биопленок определяется регуляцией их метаболизма в сообществе биопленок.

Генная и метаболическая регуляция в сообществах микромицетов является сложной и изменчивой во времени и пространстве. Не исключено, что отдельные клетки микромицетов способны химически «общаться» друг с другом, вызывая рост или спад активности при достижении критического уровня концентрации клеток. Это осуществляется с помощью механизма, называемого аутоиндукцией или распознаванием кворума.

Метабономика. Последствия, связанные с воздействием микроорганизмов на металлы, усугубляются влиянием различных процессов, происходящих в биопленках. Коррозия металлов всегда сопряжена с протеканием в микробных клетках сложных биохимических процессов. Микроорганизмы непрерывно синтезируют и секретируют различные метаболиты, которые могут участвовать в различных электрохимических процессах и участвуют в коррозионном разрушении металлов как напрямую, так и опосредованно, выступая в роли промежуточных метаболитов, из которых впоследствии будет сформирована коррозионно-активная среда [124]. В то время, как традиционные микробиологические, электрохимические и физические методы дают некоторое представление об участии микроорганизмов в коррозионном процессе, информации об идентичности и роли микробных сообществ в коррозии металлов в различных средах и ее ингибировании, остается недостаточно. Одним из способов комплексного изучения микробиологической коррозии металлов является применение методов метабономики.

Метабономика изучает конечные и промежуточные продукты обмена веществ в клетке. Метаболомный анализ является одним из самых перспективных направлений развития молекулярных методов в области системной биологии. Биохимическое состояние систе-

мы, описываемое метаболитным профилем, дает комплексную оценку биологического объекта. Появилась возможность проведения одновременной качественной и количественной характеристики большого числа малых биомолекул, являющихся компонентами метаболитной сети. Метаболомный профайлинг дает наиболее полную информацию о состоянии и поведении биологических объектов в динамике. Для его успешной реализации необходима соответствующая аналитическая техника самого высокого класса [125-128]. Метаболомика биопленки включает идентификацию метаболитов, которые производятся и потребляются посредством физико-химических превращений метаболитов в биологических системах [129-131]. Эти подходы значительно улучшат понимание мицелиальной и бактериальной коррозии различных металлов и их сплавов.

Заключение

Исследования природы взаимодействия материалов с биодеструкторами позволяют обосновать научно-методические подходы к объективной оценке и прогнозированию микробиологической устойчивости изделий техники и будут способствовать разработке биостойких материалов, конструкций, эффективных средств и методов защиты.

Требуется более глубокое знание роли микроорганизмов в процессах образования биопленки и ее роли в микробиологической коррозии металлов. Необходимо расширение знаний о микробиологическом разрушении металлов с применением современных методов исследований. Важно установление роли кислорода в биокоррозии металлов. Необходимо тщательное исследование дыхательных процессов микроорганизмов с целью установления влияния концентрации кислорода на кинетику метаболитных реакций, механизмы, характеристику разнообразия и динамику популяции биопленки. Применение мультимедийных подходов обеспечит дополнительный потенциал понимания функционирования и ассимиляции сложных популяций микроорганизмов, с помощью которых станет возможно идентифицировать ключевые метаболические сети и функции генов микроорганизмов в биопленках, ассимилированных с поверхностями субстратов.

Литература

80. Okorie I.E., Chukwudi N.R. A review of fungal influenced corrosion of metals // *Zastita Materijala*. – 2021. – V. 62, № 4. – P. 333-339. doi: 10.5937/zasmat2104333O
81. Picioareanu C., Loosdrecht M.V. A Mathematical Model for Initiation of Microbiologically Influenced Corrosion by Differential Aeration // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2002. – V. 149, № 6. – B211-B223. doi: 10.1149/1.1470657
82. Tobin E., Brenner S. Nanotechnology Fundamentals Applied to Clinical Infectious Diseases and Public Health // *Open Forum Infectious Diseases*. – 2021. – V. 8, № 12. Article number ofab583. doi: 10.1093/ofid/ofab583
83. De Jong A.W., Hagen F. Attack, Defend and Persist: How the Fungal Pathogen *Candida auris* was Able to Emerge Globally in Healthcare Environments // *Mycopathologia*. – 2019. – V. 184. – P. 353-365. doi: 10.1007/s11046-019-00351-w
84. Martinez L.R., Fries B.C. Fungal Biofilms: Relevance in the Setting of Human Disease // *Current Fungal Infection Reports*. – 2010. – V. 4, № 4. – P. 266-275. doi: 10.1007/s12281-010-0035-5
85. Gonçalves L.N.C., Costa-Orlandi C. B., Bila N.M., Vaso C.O., Da Silva R.A.M., Mendes-Giannini M.J.S., Fusco-Almeida A.M. Biofilm Formation by *Histoplasma capsulatum* in Different Culture Media and Oxygen Atmospheres // *Frontiers in Microbiology*. – 2020. – V. 11. Article number 1455. doi: 10.3389/fmicb.2020.01455
86. Kolter R., Greenberg E. P. The superficial life of microbes // *Nature*. – 2006. – V. 441, № 7091. – P. 300-302. doi: 10.1038/441300a.
87. Fanning S., Mitchell A. P. Fungal Biofilms // *PLoS Pathogens*. – 2012. – V. 8, № 4. Article number: e1002585. doi: 10.1371/journal.ppat.1002585
88. González-Ramírez A. I., Ramírez-Granillo A., Medina-Canales M. G., Rodríguez-Tovar A. V., Martínez-Rivera M. A. Analysis and description of the stages of *Aspergillus fumigatus* biofilm formation using scanning electron microscopy // *BMC Microbiology*. – 2016. – V. 16, № 1. doi: 10.1186/s12866-016-0859-4
89. Singhal D., Baker L., Wormald P.-J., Tan L. *Aspergillus Fumigatus* Biofilm on Primary Human Sinonasal Epithelial Culture // *American Journal of Rhinology & Allergy*. – 2011. – V. 25, № 4. – P. 219–225. doi: 10.2500/ajra.2011.25.3622
90. Desai J.V., Mitchell A.P., Andes D.R. Fungal Biofilms, Drug Resistance, and Recurrent Infection // *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. – 2014. – V. 4, № 10. Article number a019729. doi: 10.1101/cshperspect.a019729
91. Sardi J.D.C.O., Pitangui N.D.S., Rodríguez-Arellanes G., Taylor M.L., Fusco-Almeida A.M., Mendes-Giannini M.J.S. Highlights in pathogenic fungal biofilms // *Revista Iberoamericana de Micología*. – 2014. – V. 31, № 1. – P. 22-29. doi: 10.1016/j.riam.2013.09.014
92. Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л. Ботаника: в 4 т. М.: Издательский центр «Академия». – 2006. – Т. 1. Водоросли и грибы. – С. 5964 (грибы). ISBN 5-7695-2731-5
93. Gadd G.M. Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation // *Mycological Research*. – 2007. – V. 111, № 1. – P. 3-49. doi: 10.1016/j.mycres.2006.12.001
94. Fogarty R.V., Tobin J.M. Fungal melanins and their interactions with metals // *Enzyme and Microbial Technology*. – 1996. – V. 19, № 4. – P. 311-317. doi: 10.1016/0141-0229(96)00002-6
95. Siqueira V.M., Lima N. Biofilm Formation by Filamentous Fungi Recovered from a Water System // *Journal of Mycology*. 2013. Article number 152941. doi: 10.1155/2013/152941
96. Siqueira V.M., Lima N. Biofilm Formation by Filamentous Fungi Recovered from a Water System // *Journal of Mycology*. – 2013. Article ID 152941, 9 pages. doi: 10.1155/2013/152941
97. Шамрайчук И.Л., Белякова Г.А., Еремина И.М., Кураков А.В., Белозерский М.А., Дунаевский Я.Е. Протеолитические ферменты грибов и их ингибиторы как перспективные биоцидные средства антифунгального действия (Обзор) // *Вестник Московского университета. Серия 16. Биология*. – 2020. – Т. 75, № 3. – С. 123-130.
98. Fanning S., Mitchell A.P. Fungal Biofilms // *PLoS Pathogens*. – 2012. – V. 8, № 4. Article number e1002585. doi: 10.1371/journal.ppat.1002585
99. Звягинцев, Д.Г. Взаимодействие ми-

кроорганизмов с твердыми поверхностями / Д. Г. Звягинцев. М.: Издательство Московского университета, 1973. – 176 с.

100. Звягинцев Д.Г. Адгезия микроорганизмов и биоповреждения // Биоповреждения, методы защиты. Полтава, 1985. – С. 12-19.

101. Габитов Р.А. Адгезионные свойства микромицетов рода *Fusarium* / Р.А. Габитов, Г.В. Надеева, Т.В. Багаева // Биотехнология. Взгляд в будущее: Материалы III Международной научной Интернет-конференции: в 2 томах, Казань, 25–26 марта 2014 года / Казань: ИП Синяев Д. Н. – 2014. – С. 39-41.

102. Казначеев И.В., Гумаргалиева К.З., Миронова С.Н., Моисеев Ю.В. Адгезия различных микроскопических грибов к гидрофобным и гидрофильным материалам // Микробиологический журнал. – 1988. – Т. 50, № 6. – С. 68-70.

103. Горбушина А.А., Панина Л.К. Адгезия конидий микромицетов к полимерным материалам. Микология и фитопатология. – 1992. – Т. 26, № 5. – С. 372-377.

104. Rather M. A., Gupta K., Mandal M. Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies // Brazilian Journal of Microbiology. – 2021. – V. 52, № 12. – P. 1-18. doi: 10.1007/s42770-021-00624-x

105. Flemming H.-C., Wingender J. The biofilm matrix // Nature Reviews. Microbiology. – 2010. – V. 8, № 9. – P. 623-633. doi: 10.1038/nrmicro2415

106. Gravelat F.N., Beauvais A., Liu H., Lee M.J., Snarr B.D., Chen D., Sheppard D.C. Aspergillus Galactosaminogalactan Mediates Adherence to Host Constituents and Conceals Hyphal β -Glucan from the Immune System // PLoS Pathogens. – 2013. – V. 9, № 8. Article number e1003575. doi: 10.1371/journal.ppat.1003575

107. Fox E.P., Singh-Babak S.D., Hartooni N., Nobile C.J. Biofilms and Antifungal Resistance / Antifungals: From Genomics to Resistance and the Development of Novel Agents Chapter: Biofilms and Antifungal Resistance Publisher: Caister Academic Press, 2015. doi: 10.21775/9781910190012.04.

108. Videla H. A. Biocorrosion and biofouling of metals and alloys of industrial usage: present state of the art at the beginning of the new millennium // Revista De Metalurgia.

– 2003. – V. 39. – P. 256-264. doi:10.3989/REVMETALM.2003.V39.IEXTRA.1128

109. Imo E. O., Orji J. C., Nweke C. O. Influence of *Aspergillus fumigatus* on corrosion behaviour of mild steel and aluminium // International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research. – 2018. – V. 6. – P. 61-69.

110. Imo E. O., Chidiebere A. M. Fungal influenced corrosion of aluminium in the presence of *Acremonium kiliense* // International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research. – 2019. – V. 7. – P. 1-6.

111. Juzeliūnas E., Ramanauskas R., Lugauskas A., Samulevičienė M., Leinartas K. Microbially influenced corrosion acceleration and inhibition. EIS study of Zn and Al subjected for two years to influence of *Penicillium frequentans*, *Aspergillus niger* and *Bacillus mycoides* // Electrochemistry Communications. – 2005. – V. 7, № 3. – P. 305-311. doi: 10.1016/J.ELECOM.2005.01.012

112. Juzeliūnas E., Ramanauskas R., Lugauskas A., Leinartas K., Samulevičienė M., Sudavičius A., Juškėnas R. Microbially influenced corrosion of zinc and aluminium – Two-year subjection to influence of *Aspergillus niger* // Corrosion Science. – 2007. – V. 49, № 11. – P. 4098-4112. doi: 10.1016/j.corsci.2007.05.004

113. Jirón-Lazos U., Corvo F., De la Rosa S.C., García-Ochoa E.M., Bastidas D.M., Bastidas J. M. Localized corrosion of aluminum alloy 6061 in the presence of *Aspergillus niger* // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2018. – V. 133. – P. 17-25. doi: 10.1016/j.ibiod.2018.05.007

114. Wang J., Xiong F., Liu H., Zhang T., Li Y., Li C., Liu H. Study of the corrosion behavior of *Aspergillus niger* on 7075-T6 aluminum alloy in a high salinity environment // Bioelectrochemistry. – 2019. – V. 129. – P. 10-17. doi: 10.1016/j.bioelechem.2019.04.020

115. Lugauskas A., Leinartas K., Grigučevičienė A., Selskienė A., Binkauskienė E. Possibility of micromycetes detected in dust to grow on metals (Al, Fe, Cu, Zn) and on polyaniline-modified Ni // Ekologija. – 2008. – V. 54. – P. 149-157. doi: 10.2478/V10055-008-0023-Z

116. Zhang Y., He J., Zheng L., Jin Z., Liu H.,

Liu L., Gao Z., Meng G., Liu H., Liu H. Corrosion of aluminum alloy 7075 induced by marine *Aspergillus terreus* with continued organic carbon starvation // *Materials Degradation (npj)*. – 2022. – V. 6, № 1(27). – P. 1-12. doi: 10.1038/s41529-022-00236-2

117. Gadd G.M., Bahri-Esfahani J., Li Q., Rhee Y.J., Wei Z., Fomina M., Liang X. Oxalate production by fungi: significance in geomycology, biodeterioration and bioremediation // *Fungal Biology Reviews*. – 2014. – V. 28, № 2-3. – P. 36-55. doi: 10.1016/j.fbr.2014.05.001

118. Ceci A., Rhee Y.J., Kierans M., Hillier S., Pendrowski H., Gray N., Gadd G.M. Transformation of vanadinite [Pb₅(VO₄)₃Cl] by fungi // *Environmental Microbiology*. – 2014. – V. 17, № 6. – P. 2018-2034. doi: 10.1111/1462-2920.12612

119. Gharieb M.I., Ali M. I., El-Shoura A.A. Transformation of Copper Oxychloride Fungicide into Copper Oxalate by Tolerant Fungi and the Effect of Nitrogen Source on Tolerance // *Biodegradation*. – 2004. – V. 15, № 1. – P. 49-57. doi: 10.1023/B:BIOD.0000009962.48723.df

120. Little B., Staehle R., Davis R. Fungal influenced corrosion of post-tensioned cables // *International Biodeterioration & Biodegradation*. – 2001. – V. 47, № 2. – P. 71-77. doi: 10.1016/s0964-8305(01)00039-7

121. De Leo F., Campanella G., Proverbio E., Urzì C. Laboratory tests of fungal biocorrosion of unbonded lubricated post-tensioned tendons // *Construction and Building Materials*. – 2013. – V. 49. – P. 821-827. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.071

122. Naranjo L., Pernía B., Inojosa Y., Rojas D.A., D'Anna L.S., González M., Sisto Á.D. First Evidence of Fungal Strains Isolated and Identified from Naphtha Storage Tanks and Transporting Pipelines in Venezuelan Oil Facilities // *Advances in Microbiology*. – 2015. – V. 5. – P. 143-154. doi: 10.4236/aim.2015.52014

123. Lewandowski Z., Beyenal H. Mechanisms of Microbially Influenced Corrosion. Springer Series on Biofilms / Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. – P. 35-64. doi: 10.1007/978-3-540-69796-1_3

124. Beale D.J., Karpe A.V., Jadhav S., Muster T.H., Palombo E.A. Omics-based

approaches and their use in the assessment of microbial-influenced corrosion of metals // *Corrosion Reviews*. – 2016. – V. 34, № 1-2. – P. 1-15. doi: 10.1515/corrrev-2015-0046

125. Tripathi A.K., Thakur P., Saxena P., Rauniyar S., Gopalakrishnan V., Singh R.N., Gadhamshetty V., Gnimpieba E.Z., Jasthi B.K., Sani R.K. Gene Sets and Mechanisms of Sulfate-Reducing Bacteria Biofilm Formation and Quorum Sensing With Impact on Corrosion // *Frontiers in Microbiology*. – V. 12. Article number 754140. doi: 10.3389/fmicb.2021.754140

126. Yazdi M., Khan F., Abbassi R., Quddus N., Castaneda-Lopez H. A review of risk-based decision-making models for microbiologically influenced corrosion (MIC) in offshore pipelines // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2022. – V. 223. Article number 108474. doi: 10.1016/j.ress.2022.108474

127. Dang Y.T.H., Power A., Cozzolino D., Dinh K.B., Ha B.S., Kolobaric A., Vongsvivut J., Truong V.K., Chapman J. Analytical Characterisation of Material Corrosion by Biofilms // *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*. – 2022. – V. 8. Article number 50. doi: 10.1007/s40735-022-00648-2

128. Tuck B., Watkin E., Somers A., Machuca L.L. A critical review of marine biofilms on metallic materials // *npj Materials degradation*. – 2022. – V. 6. Article number 25. doi: 10.1038/s41529-022-00234-4

129. Beale D.J., Dunn M.S., Marney D. Application of GC-MS metabolic profiling to “blue-green water” from microbial influenced corrosion in copper pipes // *Corrosion Science*. – 2010. – V. 52, № 9. – P. 3140-3145. doi: 10.1016/j.corsci.2010.04.039

130. Beale D.J., Dunn M.S., Morrison P.D., Porter N.A., Marlow D.R. Characterisation of bulk water samples from copper pipes undergoing microbially influenced corrosion by diagnostic metabolomic profiling // *Corrosion Science*. – 2012. – V. 55. – P. 272-279. doi: 10.1016/j.corsci.2011.10.026

131. Beale D.J., Morrison P.D., Key C., Palombo E.A. Metabolic profiling of biofilm bacteria known to cause microbial influenced corrosion // *Water Science and Technology*. – 2013. – V. 69, № 1. – P. 1-8. doi: 10.2166/wst.2013.425

References

80. Okorie, I. E., Chukwudi, N. R. (2021). A review of fungal influenced corrosion of metals. *Zastita Materijala*, 62(4), 333-339. doi: 10.5937/zasmat2104333O
81. Picioreanu, C., Loosdrecht, M. V. (2002). A Mathematical Model for Initiation of Microbiologically Influenced Corrosion by Differential Aeration. *Journal of The Electrochemical Society*, 149(6), B211-B223. doi: 10.1149/1.1470657
82. Tobin, E., Brenner, S. (2021). Nanotechnology Fundamentals Applied to Clinical Infectious Diseases and Public Health. *Open Forum Infectious Diseases*, 8(12), Article number ofab583. doi: 10.1093/ofid/ofab583
83. De Jong, A. W., Hagen, F. (2019). Attack, Defend and Persist: How the Fungal Pathogen *Candida auris* was Able to Emerge Globally in Healthcare Environments. *Mycopathologia*, 184, 353-365. doi: 10.1007/s11046-019-00351-w
84. Martinez, L. R., Fries, B. C. (2010). Fungal Biofilms: Relevance in the Setting of Human Disease. *Current Fungal Infection Reports*, 4(4), 266-275. doi: 10.1007/s12281-010-0035-5
85. Gonçalves, L. N. C., Costa-Orlandi, C. B., Bila, N. M., Vaso, C. O., Da Silva, R. A. M., Mendes-Giannini, M. J. S., & Fusco-Almeida, A. M. (2020). Biofilm Formation by *Histoplasma capsulatum* in Different Culture Media and Oxygen Atmospheres. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article number 1455. doi: 10.3389/fmicb.2020.01455
86. Kolter, R., Greenberg, E. P. (2006). The superficial life of microbes. *Nature*, 441(7091), 300-302. doi: 10.1038/441300a
87. Fanning, S., Mitchell, A. P. (2012). Fungal Biofilms. *PLoS Pathogens*, 8(4), Article number: e1002585. doi: 10.1371/journal.ppat.1002585
88. González-Ramírez, A. I., Ramírez-Granillo, A., Medina-Canales, M. G., Rodríguez-Tovar, A. V., & Martínez-Rivera, M. A. (2016). Analysis and description of the stages of *Aspergillus fumigatus* biofilm formation using scanning electron microscopy. *BMC Microbiology*, 16(1). doi: 10.1186/s12866-016-0859-4
89. Singhal, D., Baker, L., Wormald, P.-J., & Tan, L. (2011). *Aspergillus Fumigatus* Biofilm on Primary Human Sinonasal Epithelial Culture. *American Journal of Rhinology & Allergy*, 25(4), 219-225. doi: 10.2500/ajra.2011.25.3622
90. Desai, J. V., Mitchell, A. P., & Andes, D. R. (2014). Fungal Biofilms, Drug Resistance, and Recurrent Infection. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 4(10), Article number a019729. doi: 10.1101/cshperspect.a019729
91. Sardi, J. D. C. O., Pitangui, N. D. S., Rodríguez-Arellanes, G., Taylor, M. L., Fusco-Almeida, A. M., & Mendes-Giannini, M. J. S. (2014). Highlights in pathogenic fungal biofilms. *Revista Iberoamericana de Micología*, 31(1), 22-29. doi: 10.1016/j.riam.2013.09.014
92. Belyakova, G. A., Dyakov, Yu. T., Tarasov, K. L. (2006). Botany: in 4 volumes. M.: Publishing Center «Academy». Vol. 1. Algae and mushrooms. pp. 59-64 (mushrooms). ISBN 5-7695-2731-5
93. Gadd, G. M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. *Mycological Research*, 111(1), 3-49. doi: 10.1016/j.mycres.2006.12.001
94. Fogarty, R. V., Tobin, J. M. (1996). Fungal melanins and their interactions with metals. *Enzyme and Microbial Technology*, 19(4), 311-317. doi: 10.1016/0141-0229(96)00002-6
95. Siqueira, V. M., Lima, N. (2013). Biofilm Formation by Filamentous Fungi Recovered from a Water System. *Journal of Mycology*, Article number 152941. doi: 10.1155/2013/152941
96. Siqueira, V. M., Lima, N. (2013). Biofilm Formation by Filamentous Fungi Recovered from a Water System. *Journal of Mycology*, Article ID 152941. doi: 10.1155/2013/152941
97. Shamraychuk, I. L., Belyakova, G. A., Eremina, I. M., Kurakov, A. V., Belozersky, M. A., Dunaevsky, Ya. E. (2020). Fungal proteolytic enzymes and their inhibitors as promising biocidal antifungal agents (Review). *Bulletin of Moscow University. Series 16. Biology*, 75(3), 123-130.
98. Fanning, S., Mitchell, A. P. (2012). Fungal Biofilms. *PLoS Pathogens*, 8(4), Article number e1002585. doi: 10.1371/journal.ppat.1002585
99. Zvyagintsev, D. G. (1973). *Interaction of microorganisms with solid surfaces* / D. G. Zvyagintsev. Moscow: Moscow University Press, 176.
100. Zvyagintsev, D. G. (1985). Adhesion of microorganisms and biodamage. *Biodamage*,

methods of protection, Poltava, 12-19.

101. Gabitov, R. A., Nadeeva, G. V., Bagaeva, T. V. (2014). Adhesive properties of micromycetes of the genus *Fusarium*. *Biotechnology. A look into the future: Proceedings of the III International Scientific Internet Conference*: in 2 volumes, Kazan, March 25-26 2014, 39-41.

102. Kaznacheev, I.V., Gumargalieva, K.Z., Mironova, S.N., & Moiseev, Yu.V. (1988). Adhesion of various microscopic fungi to hydrophobic and hydrophilic materials. *Journal of Microbiology*, 50(6), 68-70.

103. Gorbushina, A. A., Panina, L. K. (1992). Adhesion of micromycete conidia to polymeric materials. *Mycology and phytopathology*, 26(5), 372-377.

104. Rather, M. A., Gupta, K., Mandal, M. (2021). Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52(12), 1-18. doi: 10.1007/s42770-021-00624-x

105. Flemming, H.-C., Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews. Microbiology*, 8(9), 623-633. doi: 10.1038/nrmicro2415

106. Gravelat, F. N., Beauvais, A., Liu, H., Lee, M. J., Snarr, B. D., Chen, D., & Sheppard, D. C. (2013). *Aspergillus* Galactosaminogalactan Mediates Adherence to Host Constituents and Conceals Hyphal β -Glucan from the Immune System. *PLoS Pathogens*, 9(8), Article number e1003575. doi: 10.1371/journal.ppat.1003575

107. Fox, E. P., Singh-Babak, S. D., Hartooni, N., & Nobile, C. J. (2015). Biofilms and Antifungal Resistance. Antifungals: From Genomics to Resistance and the Development of Novel Agents. Chapter: Biofilms and Antifungal Resistance. Publisher: Caister Academic Press. doi: 10.21775/9781910190012.04

108. Videla, H. A. (2003). Biocorrosion and biofouling of metals and alloys of industrial usage: present state of the art at the beginning of the new millennium. *Revista De Metalurgia*, 39, 256-264. doi:10.3989/REVMETALM.2003.V39.IEXTRA.1128

109. Imo, E. O., Orji, J. C., & Nweke, C. O. (2018). Influence of *Aspergillus fumigatus* on corrosion behaviour of mild steel and aluminium. *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research*, 6, 61-69.

110. Imo, E. O., Chidiebere, A. M. (2019). Fungal influenced corrosion of aluminium in the presence of *Acremonium kiliense*. *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research*, 7, 1-6.

111. Juzeliūnas, E., Ramanauskas, R., Lugauskas, A., Samulevičienė, M., & Leinartas, K. (2005). Microbially influenced corrosion acceleration and inhibition. EIS study of Zn and Al subjected for two years to influence of *Penicillium frequentans*, *Aspergillus niger* and *Bacillus mycoides*. *Electrochemistry Communications*, 7(3), 305-311. doi: 10.1016/J.ELECOM.2005.01.012

112. Juzeliūnas, E., Ramanauskas, R., Lugauskas, A., Leinartas, K., Samulevičienė, M., Sudavičius, A., & Juškėnas, R. (2007). Microbially influenced corrosion of zinc and aluminium – Two-year subjection to influence of *Aspergillus niger*. *Corrosion Science*, 49(11), 4098–4112. doi: 10.1016/j.corsci.2007.05.004

113. Jirón-Lazos, U., Corvo, F., De la Rosa, S. C., García-Ochoa, E. M., Bastidas, D. M., & Bastidas, J. M. (2018). Localized corrosion of aluminum alloy 6061 in the presence of *Aspergillus niger*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 133, 17-25. doi: 10.1016/j.ibiod.2018.05.007

114. Wang, J., Xiong, F., Liu, H., Zhang, T., Li, Y., Li, C., & Liu, H. (2019). Study of the corrosion behavior of *Aspergillus niger* on 7075-T6 aluminum alloy in a high salinity environment. *Bioelectrochemistry*, 129, 10-17. doi: 10.1016/j.bioelechem.2019.04.020

115. Lugauskas, A., Leinartas, K., Griguševičienė, A., Selskienė, A., & Binkauskienė, E. (2008). Possibility of micromycetes detected in dust to grow on metals (Al, Fe, Cu, Zn) and on polyaniline-modified Ni. *Ekologija*, 54, 149-157. doi: 10.2478/V10055-008-0023-Z

116. Zhang, Y., He, J., Zheng, L., Jin, Z., Liu, H., Liu, L., Gao, Z., Meng, G., Liu, H., & Liu, H. (2022). Corrosion of aluminum alloy 7075 induced by marine *Aspergillus terreus* with continued organic carbon starvation. *Materials Degradation (npj)*, 6, 1(27), 1-12. doi: 10.1038/s41529-022-00236-2

117. Gadd, G. M., Bahri-Esfahani, J., Li, Q., Rhee, Y. J., Wei, Z., Fomina, M., & Liang, X. (2014). Oxalate production by fungi: significance in

geomycology, biodeterioration and bioremediation. *Fungal Biology Reviews*, 28(2-3), 36-55. doi: 10.1016/j.fbr.2014.05.001

118. Ceci, A., Rhee, Y. J., Kierans, M., Hillier, S., Pendrowski, H., Gray, N., & Gadd, G. M. (2014). Transformation of vanadinite [Pb₅(VO₄)₃Cl] by fungi. *Environmental Microbiology*, 17(6), 2018-2034. doi: 10.1111/1462-2920.12612

119. Gharieb, M. I., Ali, M. I., & El-Shoura, A. A. (2004). Transformation of Copper Oxychloride Fungicide into Copper Oxalate by Tolerant Fungi and the Effect of Nitrogen Source on Tolerance. *Biodegradation*, 15(1), 49-57. doi: 10.1023/B:BIOD.0000009962.48723.df

120. Little, B., Staehle, R., & Davis, R. (2001). Fungal influenced corrosion of post-tensioned cables. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 47(2), 71-77. doi: 10.1016/s0964-8305(01)00039-7

121. De, Leo F., Campanella, G., Proverbio, E., & Urzi, C. (2013). Laboratory tests of fungal biocorrosion of unbonded lubricated post-tensioned tendons. *Construction and Building Materials*, 49, 821-827. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.071

122. Naranjo, L., Pernía, B., Inojosa, Y., Rojas, D. A., D'Anna, L. S., González, M., & Sisto, Á. D. (2015). First Evidence of Fungal Strains Isolated and Identified from Naphtha Storage Tanks and Transporting Pipelines in Venezuelan Oil Facilities. *Advances in Microbiology*, 5, 143-154. doi: 10.4236/aim.2015.52014

123. Lewandowski, Z., Beyenal, H. (2008). Mechanisms of Microbially Influenced Corrosion. Springer Series on Biofilms. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 35–64. doi: 10.1007/978-3-540-69796-1_3

124. Beale, D. J., Karpe, A. V., Jadhav, S., Muster, T. H., & Palombo, E. A. (2016). Omics-based approaches and their use in the assessment of microbial-influenced corrosion of metals. *Corrosion Reviews*, 34(1-2), 1-15. doi: 10.1515/correv-2015-0046

125. Tripathi, A. K., Thakur, P., Saxena, P., Rauniyar, S., Gopalakrishnan, V., Singh, R. N., Gadhamshetty, V., Gnimpieba, E. Z., Jasthi, B. K., & Sani, R. K. (2021). Gene Sets and Mechanisms of Sulfate-Reducing Bacteria Biofilm Formation and Quorum Sensing With Impact on Corrosion. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article number 754140. doi: 10.3389/fmicb.2021.754140

126. Yazdi, M., Khan, F., Abbassi, R., Quddus, N., & Castaneda-Lopez, H. (2022). A review of risk-based decision-making models for microbiologically influenced corrosion (MIC) in offshore pipelines. *Reliability Engineering & System Safety*, 223, Article number 108474. doi: 10.1016/j.ress.2022.108474

127. Dang, Y. T. H., Power, A., Cozzolino, D., Dinh, K. B., Ha, B. S., Kolobaric, A., Vongsivut, J., Truong, V. K., & Chapman, J. (2022). Analytical Characterisation of Material Corrosion by Biofilms. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 8, Article number 50. doi: 10.1007/s40735-022-00648-2

128. Tuck, B., Watkin, E., Somers, A., Machuca, L. L. (2022). A critical review of marine biofilms on metallic materials. *npj Materials degradation*, 6, Article number 25. doi: 10.1038/s41529-022-00234-4

129. Beale, D. J., Dunn, M. S., Marney, D. (2010). Application of GC–MS metabolic profiling to “blue-green water” from microbial influenced corrosion in copper pipes. *Corrosion Science*, 52(9), 3140-3145. doi: 10.1016/j.corsci.2010.04.039

130. Beale, D. J., Dunn, M. S., Morrison, P. D., Porter, N. A., Marlow, D. R. (2012). Characterisation of bulk water samples from copper pipes undergoing microbially influenced corrosion by diagnostic metabolomic profiling. *Corrosion Science*, 55, 272-279. doi: 10.1016/j.corsci.2011.10.026

131. Beale, D. J., Morrison, P. D., Key, C., Palombo, E. A. (2013). Metabolic profiling of biofilm bacteria known to cause microbial influenced corrosion. *Water Science and Technology*, 69(1), 1-8. doi: 10.2166/wst.2013.425

Информация об авторах

Белов Денис Владимирович, к.х.н., доцент, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук, г. Нижний Новгород, Российская Федерация
Беляев Сергей Николаевич, к.х.н., научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Information about authors

Denis V. Belov, Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, Senior Researcher, Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Sergey N. Belyaev, Ph.D. in Chemistry, Researcher, Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russian Federation)

ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ БУРОВЫХ НАСОСОВ «КАРТЭК-28Б»

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Ингибитор «КАРТЭК-28Б» обеспечивает высокоэффективную защиту от коррозии оборудования, изготовленного из разнородных металлов и сплавов, в водных средах – углеродистых и нержавеющих сталей, чугуна, нирезиста, порошковых материалов, латуни и других. Продукт преимущественно применяется для защиты от коррозии буровых насосов в процессе гидроиспытаний, а также теплоэнергетического оборудования – котлов, баков, емкостей, трубопроводов, химических реакторов, в период простаивания.

ОПИСАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ингибитор «КАРТЭК-28Б» представляет собой концентрированный водный раствор неорганических, комплексообразующих и буферных веществ.

Важным преимуществом ингибитора «КАРТЭК-28Б», в отличие от комплексоноватых, является быстрое нарастание защитного эффекта при воздействии водных сред при обычных и повышенных температурах на разнородные металлы и сплавы, в том числе, серый чугун, что особенно важно при кратковременных гидроиспытаниях без последующей сушки оборудования.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И ХРАНЕНИЮ

Концентрация ингибитора, используемая для консервации оборудования, составляет 4 л/м³. Защитное действие образованных им плёнок после высыхания сохраняется не менее чем в течение 15 суток. При нахождении ингибирующего раствора в оборудовании защитный эффект сохраняется в течение неограниченного времени. Допускается многократное использование ингибирующего раствора. Гарантийный срок хранения 6 месяцев в таре изготовителя.

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

Раствор ингибитора «КАРТЭК-28Б» в воде (в концентрации 4 л/м³) в процессе использования не оказывает вредного воздействия на организм человека и окружающую среду, является пожаро-взрывобезопасным. Концентрированный раствор ингибитора «КАРТЭК-28Б» имеет слабощелочную реакцию и при его попадании в глаза и на кожу их промывают водой.

ВАРИАНТЫ УПАКОВКИ И ПОСТАВКИ

Ингибитор «КАРТЭК-28Б» поставляется на заказ в пластиковой таре ёмкостью 10-20 л.

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

ТУ 2415-017-17804808-2005.



СЕРТИФИКАЦИЯ

**Сертификаты,
выданные Центральным НИИ коррозии и сертификации и ООО «КАРТЭК»
в I квартале 2023 г.**

Предприятие-изготовитель	Наименование продукции
Сертификаты	
ООО «АРХИМ», г. Новозыбков	Эмульгатор для буровых эмульсий «GERTERS-EMUL-99»
ООО «АРХИМ», г. Новозыбков	Реагент «GERTEKS-RT»
ООО «АРХИМ», г. Новозыбков	Реагент «Gerteks-Gilsonite»
ООО «2С», г. Москва	Реагент 2С-Демолит
ООО «2С», г. Москва	Реагент 2С-СПС (марок «2С-СПСк», «2С-СПСу», «2С-СПСв»)
ООО «2С», г. Москва	Комплексные интенсифицирующие добавки в кислотные составы 2С-ИНТЕКС
ООО «2С», г. Москва	Реагенты-модификаторы кислотных составов 2С-РЕМОКС
МУП г. Пскова «Псковские тепловые сети», г. Псков	Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой
ООО «НПГ Мариленд-Бел», Республика Беларусь, г. Буда-Кошелево	Компенсаторы сильфонные металлические для тепловых сетей, водопроводов и паропроводов от DN 50 мм до DN 1200 мм