



Уважаемые коллеги,

Судя по доходящим до нас отзывам, практика публикации заказных статей по интересующим многих читателей вопросам противокоррозионной защиты себя оправдывает. Это позволяет, с одной стороны, выстраивать более четкую и внятную систему подбора статей в очередной номер, а с другой – сделать журнал интересней и полезней для читателей.

В этом номере журнала мы публикуем по вашим просьбам, наряду с другими, статьи по современным тенденциям в подборе и использовании композиционных и гуммировочных материалов для защиты оборудования и конструкций от коррозии. Статьи написаны ведущими специалистами страны в этой области, представляющими активно действующие и успешные организации.

В следующем номере журнала мы предполагаем опубликовать материалы по защите от коррозии оборудования и трубопроводов нефтегазодобычи.

Мы благодарны авторам и читателям за внимательное и доброжелательное отношение к журналу.

Главный редактор А.П. Акользин



**ПРАКТИКА
ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

Том 27 № 1 2022 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

ЛЕКЮРЕ Фабрис, магистр физики, директор департамента
Электрисите де Франс, г. Париж, Франция

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 27 Issue 1 2022

**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

Fabrice LECURET, Ph.D. in Physics, Directeur de Departement,
Electricité de France, Paris, France

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

Vyacheslav G. GLUKHOV



В номере:

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОРРОЗИОННОГО КОНТРОЛЯ

Нонг Куок Куанг, Н.Л. Филичев, Д.С. Микуров, Нгуен Ван Чи, Донг Ван Кьен,
Ле Хонг Куан, Као Ньят Линь, Н.Г. Ануфриев

Исследование эффективности противокоррозионной защиты конструкционной
стали АН-36 при катодной поляризации в тропической морской воде..... 7

**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

Ю.В. Холодников, Л.И. Альшиц, А.С. Дербышев

Композиты для химических производств..... 17

Ю.В. Семенов, К.Ю. Зерщиков, Н.А. Слепокуров

Агрессивостойкие жидкие гуммировочные составы для антикоррозионной
защиты емкостного оборудования..... 33

Д.Б. Агамалиева, М.М. Аббасов, В.М. Аббасов, Х.Х. Алиева

Синтез алкиламиновых комплексов, полученных на основе малеиновых
кислот и исследование бактерицидных свойств..... 42

СЕРТИФИКАЦИЯ..... 52

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

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



Contents:

DEVICES AND METHODS OF CORROSION CONTROL

Nong Quoc Quang, N.L. Philichev, D.S. Mikurov, Nguyen Van Chi, Dong Van Kien,
Le Hong Quan, Cao Nhat Linh, N.G. Anufriev

**Experimental study of the anti-corrosion effect of structural steel AH-36 under
cathodic polarization in the tropical marine environment..... 7**

MATERIALS AND EQUIPMENT FOR CORROSION PROTECTION

Yu.V. Kholodnikov, L.I. Alshits, A.S. Derbyshev

Composites for chemical industries..... 17

Yu.V. Semenov, K.Yu. Zershchikov, N.A. Slepokurov

New generation anticorrosive materials based on styrene block copolymers..... 33

D.B. Agamalieva, M.M. Abbasov, V.M. Abbasov, Kh. Kh. Alieva

**Synthesis of allylamine complexes based on maleic acids and investigation of
bactericidal properties..... 42**

SERTIFICATION..... 52

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 – 4400 рублей, в том числе НДС (10%). Подписная цена включает стоимость доставки.

Стоимость электронной версии одного экземпляра журнала – 3900 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.



**ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ
КОРРОЗИОННОГО КОНТРОЛЯ**

**DEVICES AND METHODS
OF CORROSION CONTROL**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-1.

Исследование эффективности противокоррозионной защиты конструкционной стали АН-36 при катодной поляризации в тропической морской воде

Нонг Куок Куанг¹✉, Н.Л. Филичев¹, Д.С. Микуров¹, Нгуен Ван Чи¹, Донг Ван Кьен¹,
Ле Хонг Куан¹, Као Ньят Линь¹, Н.Г. Ануфриев²

¹Приморское отделение, Российско-Вьетнамский Тропический Центр,
Вьетнам, пров. Кханьхоа, г. Нячанг, ул. Нгуен Тхиен Тхуат, д. 30

²Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН,
РФ, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31

e-mail: nquocquang5@gmail.com

Аннотация. Приведены предварительные результаты экспериментального исследования эффективности противокоррозионной защиты конструкционной стали АН-36 путем катодной поляризации в тропической морской воде. Также приводятся данные различных сенсоров состояния окружающей среды для анализа условий образования солевых катодных отложений (СКО). Образование СКО подтверждалось стабилизацией выходного напряжения при фиксировании выходного тока источника питания. После первых 100...120 часов катодной поляризации поверхность конструкционной стали АН-36 полностью покрывалась солевыми катодными отложениями в натурной тропической морской среде. Анализ свойств СКО в лабораторных условиях с использованием электрохимических методов показывает, что эффективность защиты стали АН-36 от коррозии при катодной поляризации достигается в течение первой недели. Поддержание постоянной плотности тока при данном поляризационном потенциале приводит к снижению эффективности электрохимической защиты. Предложены направления изучения свойств СКО для повышения защитной эффективности и их стойкости в морской воде.

Ключевые слова: солевые катодные отложения, морской тропический климат, катодная поляризация, конструкционная сталь, прибрежный район, источник постоянного тока.

Для цитирования: Нонг Куок Куанг, Филичев Н.Л., Микуров Д.С., Нгуен Ван Чи, Донг Ван Кьен, Ле Хонг Куан, Као Ньят Линь, Ануфриев Н.Г. Исследование эффективности противокоррозионной защиты конструкционной стали АН-36 при катодной поляризации в тропической морской воде // Практика противокоррозионной защиты. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 7-16. doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-1.

Статья получена: 16.11.2021, опубликована 01.03.2022.

**Experimental study of the anti-corrosion effect of structural steel AH-36
under cathodic polarization in the tropical marine environment**

Nong Quoc Quang¹✉, N.L. Philichev¹, D.S. Mikurov¹, Nguyen Van Chi¹, Dong Van Kien¹,
Le Hong Quan¹, Cao Nhat Linh¹, N.G. Anufriev²

¹Russian-Vietnamese Tropical Center, Coastal Branch,
30, Nguyen Thien Thuat str., Nha Trang, Khanh Hoa, Vietnam

²Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of RAS,
31/4, Leninskiy pr., Moscow, 119071, Russian Federation

e-mail: nquocquang5@gmail.com

Abstract. The initial result of an experimental study of the anti-corrosion effect of structural steel AH-36 is shown under cathodic polarization in tropical seawater in Vietnam. In the study, various environmental sensors are used to collect data about the environment, in which the calcareous layer is formed with rapid polarization. The completion of layer formation is proved by the stabilization of the output voltage while fixing the output current of the power supply. Under the experimental condition, after the first 100...120 hours, the surface of AH-36 structural steel is completely covered with calcareous layer in the tropical marine environment. An analysis of the properties of the calcareous layer in laboratory conditions using electrochemical methods shows that the effectiveness of protection of AH-36 steel from corrosion after cathodic polarization is achieved in the first week. Maintaining a constant current density further away at a given polarization potential leads to a decrease in the effectiveness of electrochemical protection. We offer directions for studying the calcareous layer for increasing the protective efficiency and their resistance in seawater.

Keywords: calcareous deposit, tropical-marine climate, cathodic polarization, structural steel, coastal area, constant-

current output mode.

For citation: Nong, Quoc Quang, Philichev, N. L., Mikurov, D. S., Nguyen, Van Chi, Dong, Van Kien, Le, Hong Quan, Cao, Nhat Linh, & Anufriev, N. G. (2022). Experimental study of the anti-corrosion effect of structural steel AH-36 under cathodic polarization in the tropical marine environment. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 27(1), 7-16. doi:10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-1.

Received: November 16, 2021. Published: March 01, 2022.

Введение

Катодная поляризация широко применяется для защиты морских судов и инженерных конструкций от электрохимической коррозии [1, 2]. При катодной поляризации внешним током химический состав и состояние морской среды влияют на кинетику электродных реакций, особенно восстановительной реакции с образованием твердофазных продуктов на поверхности катода [3]. В данной работе проводилось межрежимное сравнение изменения одного из параметров источника питания при исследовании эффективности катодной поляризации.

Солевые катодные отложения (СКО) являются побочным продуктом электрохимической защиты [4]. Свойства отложений в лабораторных условиях хорошо изучены и результаты опубликованы в научно-популярной литературе [5-7]. Представлены составы и исследована стойкость СКО в натуральных условиях нескольких зон в умеренных и субтропических широтах [8-10] в морской воде. На данных территориях отмечены высокая концентрация растворимого углекислого газа и низкая поверхностная температура морской воды. Влияние температурного фактора и растворенных в морской воде веществ на состав СКО, содержащих карбонат кальция и гидроксид магния, рассмотрены в [4, 11-14].

В тропическом море, где среднесуточная температура поверхностного слоя воды приближается к 30 °С [15] и количество растворенного углекислого газа уменьшено (из-за повышения температуры), теоретически в состав СКО входит преимущественно гидроксид магния [4]. Это объясняется тем, что высокий pH на поверхности катода и высокая температура морской воды способствуют предпочтительному химическому осаждению гидроксида магния по сравнению с осаждением карбоната кальция, с другой стороны, низкое количество растворенного углекислого газа пропорционально

количеству осажденного карбоната кальция [3]. Вопросы о составах СКО и их роли мало исследованы в тропической морской воде.

В данной работе рассмотрены условия формирования СКО при катодной защите. Электрохимические характеристики пористых СКО были получены путем лабораторных измерений.

Материалы и методы испытаний

Для изучения влияния катодной поляризации металла на коррозионные процессы и обрастание в морской воде использовались прямоугольные образцы из конструкционной стали АН-36, имеющие размеры 10×15×0,3 см. Химический состав стали АН-36, который анализировался по ASTM E415:2017, приведен в *табл. 1*, состав морской воды и концентрация растворенных в ней газов – в *табл. 2 и 3*.

Для получения СКО и изучения электрохимических свойств осадков к поверхности образцов из стали АН-36 приклеивались короткие отрезки труб (диаметром 2,1 см и высотой 3 см) из поливинилхлорида с помощью эпоксидной смолы для ограничения площади исследуемых СКО, которая была равна 3,42 см².

Для круглосуточной записи изменения применяемого напряжения на двух электродах, к аноду и катоду подключался автономный Даталоггер: 3-Channel DC Voltage Datalogger (EXTECH Manufacturer).

Параметры морской воды регистрировались с использованием сенсоров, управляемых системой IQ SensorNet 2020 (YSI Inc. / Xylem Inc.). Основные параметры, которые записывались в блоке памяти системы: температура, соленость, pH , содержание кислорода.

Источник постоянного тока в системе катодной защиты использует солнечную энергию, накопленную в аккумуляторе. Данный прибор марки QJ3003XE, произведенный компанией QJE – Китай, работает в режиме стабилизации выходного тока.

Таблица 1. Химический состав конструкционной стали АН-36 по ASTM E415:2017
Table 1. Chemical composition of structural steel АН-36 according to ASTM E415:2017

Элемент / Element	Углерод / Carbon	Марганец / Manganese	Фосфор / Phosphorus	Сера / Sulfur	Никель / Nickel
Состав, % / Compound, %	≤0,1296	≤0,8780	≤0,0238	≤0,0109	≤0,0067
Элемент / Element	Хром / Chrome	Медь / Copper	Алюминий / Aluminum	Свинец / Lead	Цинк / Zinc
Состав, % / Compound, %	≤0,0174	≤0,0075	≤0,0425	≤0,0431	≤0,0285

Таблица 2. Ионный состав морской воды
Table 2. Ionic composition of sea water

Ионы / Ions	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	Na^+	SO_4^{2-}	K^+	HCO_3^-
Концентрация, млн ⁻¹ (массовой доли) / Concentration, ppm (mass fraction)	458	1210	18542	11036	2874	378	152

Таблица 3. Концентрация растворенных газов в морской воде
Table 3. Concentration of dissolved gases in sea water

Растворенный газ / Dissolved gas	N_2	O_2	CO_2
Концентрация, млн ⁻¹ (массовой доли) / Concentration, ppm (mass fraction)	12,1	7,5	93,2

Электрохимические исследования на СКО проводились в лабораторных условиях с использованием прибора AutoLab PGSTAT204N (Metrohm, Нидерланды).

Результаты и обсуждение

Результаты измерения основных гидрологических параметров морской воды характеризуют условия формирования СКО. Значения растворимости кислорода, солености, *pH* и записанной параллельно температуры суммированы в *табл. 4* и на *рис. 1*. Можно полагать, что представленные параметры

отражают гидрологические особенности тропических морских вод [10, 15]. Средние дневные температуры поверхностной воды колеблются в пределах 26...32 °С, концентрация растворенного кислорода составляла в среднем $7,512 \pm 0,332$ мг/литр. Эти факторы определяют удельное электрическое сопротивление морской воды и влияют на растекание тока между электродами [16].

Изменение выходного напряжения двух-электродной системы катодной защиты при протекании постоянного электрического тока между электродами показано на *рис. 2*. В те-

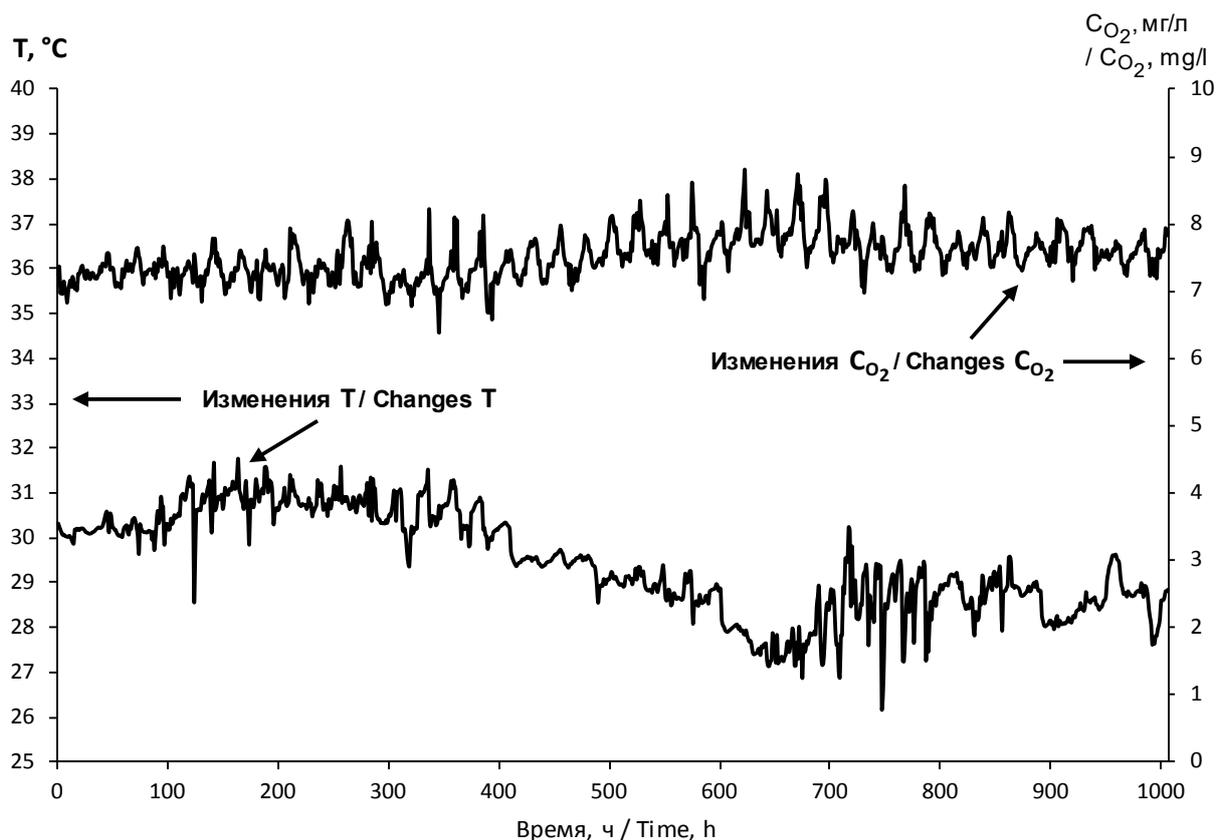


Рис. 1. Изменение температуры и концентрации растворенного кислорода морской воды

Fig. 1. Change in temperature and concentration of dissolved oxygen in sea water

Таблица 4. Температура, концентрация растворенного кислорода и *pH* морской воды на морской испытательной станции Дам Бай, Ньячанг, Кханьхоа

Table 4. Temperature, Dissolved Oxygen Concentration and *pH* of Seawater at Dam Bai Marine Test Station, Nha Trang, Khanh Hoa

Сенсор / Sensor	SC FDO 700		TetraCon 700IQ		SensoLyt 700IQ	
Длительность периода измерения / Duration of the measurement period	15 мин / 15 min		15 мин / 15 min		15 мин / 15 min	
Параметр / Parameter	Температура, °C / Temperature, °C	Содержание кислорода, г/л / Oxygen content, g/l	Температура, °C / Temperature, °C	Соленность, ‰ / Salinity, ‰	Температура, °C / Temperature, °C	<i>pH</i>
Среднее значение / Mean	29,458	7,512	29,317	34,253	29,438	8,077
Стандартное отклонение / Standard deviation	1,114	0,332	1,125	0,723	1,118	0,057

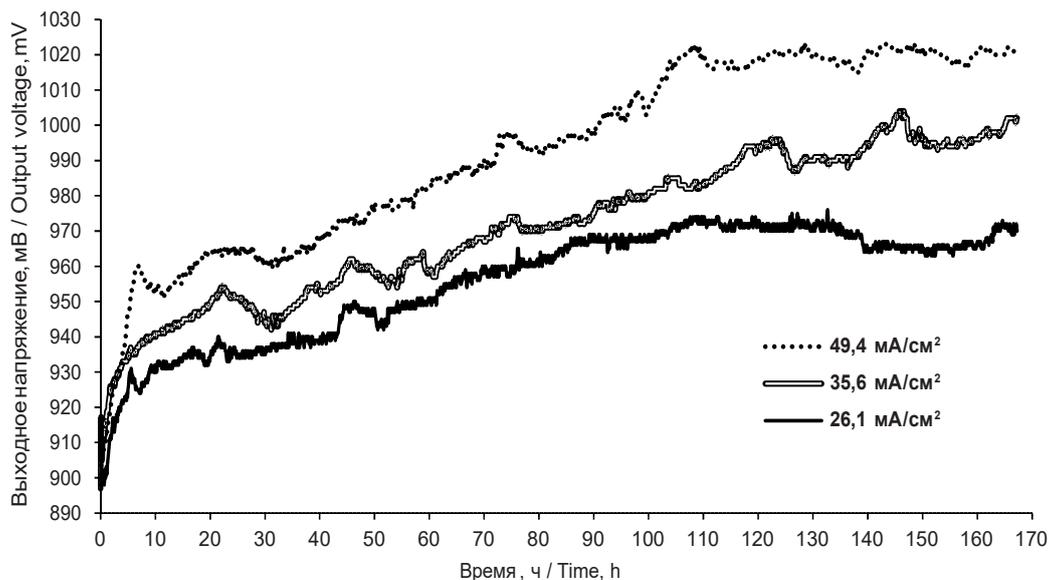


Рис. 2. Изменение выходного напряжения от времени поляризации при заданной величине плотности тока на катоде

Fig. 2. Change in output voltage as a function of polarization time at a given value of current density at the cathode

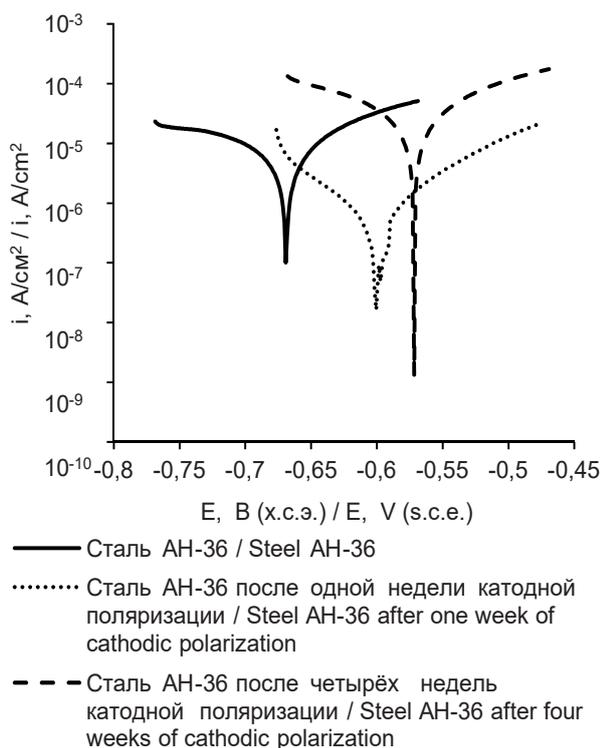


Рис. 3. Тафелевские кривые конструкционной стали АН-36 до и после катодной поляризации в морской воде

Fig. 3. Tafel curves of structural steel AH-36 before and after cathodic polarization in sea water

чение первых 100...120 часов поляризации (быстрая поляризация) [16], выходное напряжение колеблется в пределах, пропорциональных периодическому изменению сопротивления растеканию тока. После быстрой поляризации система находится в состоянии поддерживаемой поляризации, наклон линии напряжение – время становится меньше.

Данные исследований методом потенциостатической поляризации для оценки эффективности катодной защиты, приведены на рис. 3. Плотность тока (скорость коррозии) и потенциал коррозии определяли из поляризационных кривых. Результаты экстраполяции их тафелевского участка показывают, что происходит смещение кривых в положительную сторону под действием катодной поляризации. Потенциал свободной коррозии смещается в положительном направлении с -670 мВ до -570 мВ (х.с.э.), скорость коррозии достигает минимального значения, равного 2,27 мкА/см² после одной недели поляризации, но становится в 3 раза больше у поляризованной стали после четырех недель поляризации. Это явление связано с пористостью и микроструктурой СКО при поддерживаемой постоянной плотности тока [4].

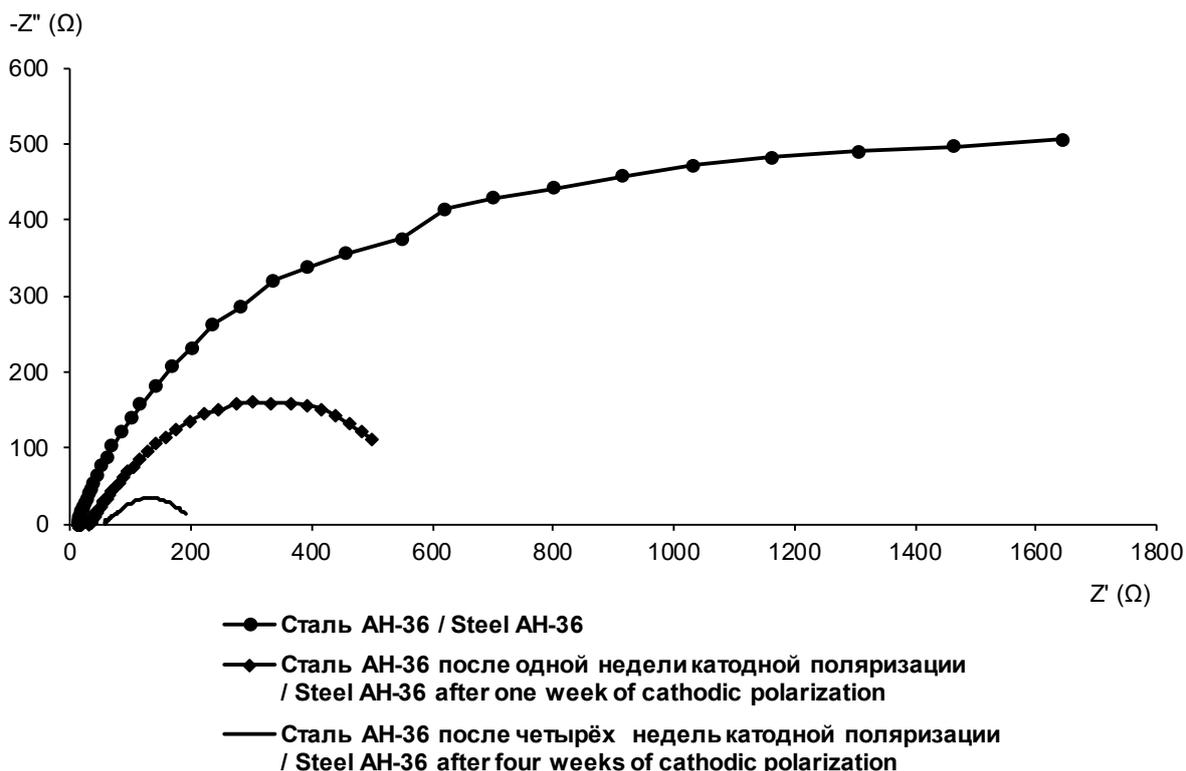


Рис. 4. Годографы импеданса стальных электродов АН-36 до и после катодной поляризации

Fig. 4. Hodographs of the impedance of steel electrodes AN-36 before and after cathodic polarization

Таблица 5. Результат экстраполяции тафельских участков поляризационных кривых

Table 5. The result of extrapolation of the Tafel plots of the polarization curves

Рабочий электрод / Working electrode	Параметр / Parameter	Потенциал коррозии $-E_{кор}$, мВ / Corrosion potential, $-E_{cor}$, mV	Скорость коррозии, $I_{кор}$, мкА/см ² / Corrosion rate, I_{cor} , μ A/cm ²	Анодный коэффициент Тафеля, мВ / Anode Tafel coefficient, mV	Потенциал свободной коррозии, мВ / Free corrosion potential, mV
Сталь АН-36 / Steel AN-36		668,97	22,42	174	-670
Сталь АН-36 после одной недели катодной поляризации / Steel AN-36 after one week of cathodic polarization		600,94	2,27	73	-577
Сталь АН-36 после четырех недель катодной поляризации / Steel AN-36 after four weeks of cathodic polarization		571,75	69,92	112	-570

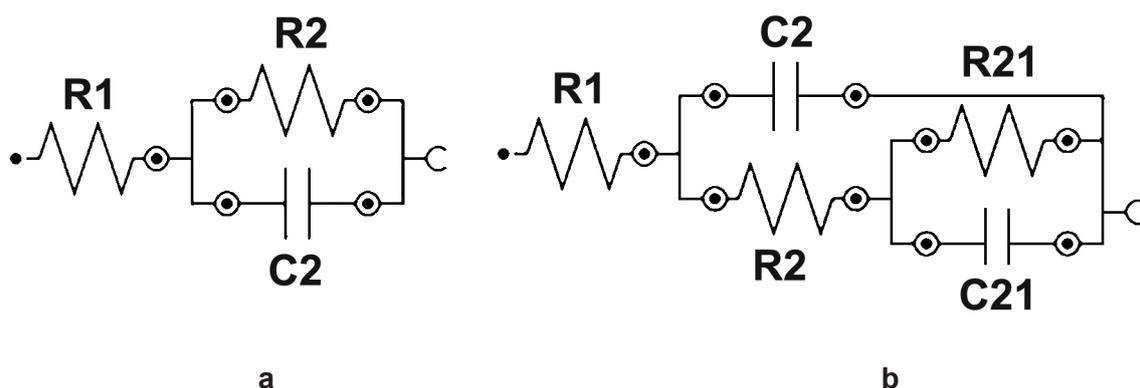


Рис. 5. Электрические эквивалентные схемы замещения измерительной ячейки а – стали АН-36; б – стали АН-36 с СКО, где на схеме а: R1 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – сопротивление электролита; R2 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – сопротивление переноса заряда; C2 ($\text{Ф} \cdot \text{см}^2$) – емкость двойного электрического слоя; на схеме б:

R1 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – сопротивление электролита; C21 ($\text{Ф} \cdot \text{см}^2$) – емкость двойного электрического слоя; R21 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – сопротивление переноса заряда; C2 ($\text{Ф} \cdot \text{см}^2$) – емкость диэлектрика СКО (элемент постоянной фазы); R2 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – сопротивление СКО (сопротивление пористого отложения)

Fig. 5. Electrical equivalent equivalent circuits of the measuring cell a – АН-36 steel; b – steel АН-36 with SKO where in scheme a: R1 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – electrolyte resistance; R2 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – is the charge transfer resistance; C2 ($\text{F} \cdot \text{см}^2$) – capacitance of the double electric layer; in scheme b:

R1 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – electrolyte resistance; C21 ($\text{F} \cdot \text{см}^2$) – capacitance of the electrical double layer; R21 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – charge transfer resistance; C2 ($\text{F} \cdot \text{см}^2$) – capacitance of the SKO dielectric (constant phase element); R2 ($\Omega \cdot \text{см}^2$) – RMS resistance (resistance of porous deposits)

Таблица 6. Результат моделирования спектров импеданса по заданным эквивалентным схемам

Table 6. The result of impedance spectra modeling for given equivalent circuits

Рабочий электрод / Worker electrode	Элемент эквивалентной схемы / Element equivalent scheme	R1, $\Omega \text{ cm}^2$	R2, $\Omega \text{ cm}^2$	C2**, F cm^2	C21, F cm^2	R2*, $\Omega \text{ cm}^2$	R21, $\Omega \text{ cm}^2$
Сталь АН-36* / Steel АН-36*		4,477		335,462x10 ⁻⁶		227,023	
Сталь АН36** / Steel АН36**		4,398	61,719	194,942x10 ⁻⁶	588,497x10 ⁻⁶		274,277
Сталь АН-36 после одной недели катодной поляризации / Steel АН-36 after one week of cathodic polarization		10,173	24,653	219,075x10 ⁻⁶	1317,919x10 ⁻⁶		96,82
Сталь АН-36 после четырех недель катодной поляризации / Steel АН-36 after four weeks of cathodic polarization		17,110	9,942	138,439	2040,462x10 ⁻⁶		23,526

Примечание / Note:

* по электрической эквивалентной схеме замещения измерительной ячейки на рис. 5а / according to the electrical equivalent circuit of the measuring cell in fig. 5a;

** по электрической эквивалентной схеме замещения измерительной ячейки на рис. 5б / according to the electrical equivalent circuit of the measuring cell in fig. 5b.

Для анализа свойств СКО использовался метод электрохимической импедансной спектроскопии. Получены кривые импеданса в диапазоне частот от 105 Гц до 0,01 Гц (рис. 4). Результат аппроксимации эквивалентной схемой (программой обеспечения Nova 2.0 Metrohm) показан в табл. 5 по предлагаемым вариантам [17, 18], для стали АН-36 и поляризованной стали АН-36 с СКО (рис. 5).

На годографах импеданса (рис. 4) незначительно различаются полукруги при высоких и низких частотах. По данным табл. 6, чем дольше время поляризации и осаждения СКО, тем меньше сопротивление пористых отложений R2 и больше емкость двойного слоя C21. Емкость диэлектрика СКО – C2 и сопротивление СКО (сопротивление пор) – R2 имеют тенденцию уменьшения от времени поляризации. Это объясняется тем, что при поляризации с постоянной плотностью тока, пористость СКО увеличивается по времени.

Выводы

1. При катодной поляризации с плотностью тока от 26,1 мА/см² до 49,4 мА/см² в натурной тропической морской среде, поверхность конструкционной стали АН-36 полностью покрывается солевыми катодными отложениями после первых 100...120 часов.

2. Результаты экстраполяции тафелевских участков поляризационных кривых показывают, что эффективная защита стали АН-36 от коррозии после катодной поляризации достигается в первые недели. Дальнейшее поддержание постоянной плотности тока при данном поляризационном потенциале приводит к снижению эффективности электрохимической защиты. Явление сопровождается изменением микроструктуры и пористости СКО.

3. Предлагается изучение морфологических особенностей, состава и распределения минеральных фаз в СКО для повышения защитной эффективности и стойкости СКО в морской воде.

Литература

1. Богорад И.Я., Климова В.А. Коррозия и защита морских судов. – Л.: Судостроение, 1973. – 392 с.
2. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита

от коррозии: справочник, пер. с нем. – М.: Металлургия, 1986. – 496 с.

3. Carré C., Zanibellato A., Jeannin M., Sabot R., Gunkel-Grillon P., Serres A. Electrochemical calcareous deposition in seawater. A review // Environmental Chemistry Letters. – 2020. – № 1. – С. 25-30.

4. Чернов Б.Б., Фирсова Л.Ю., Нугманов А.М. Закономерности образования солевых отложений при катодной защите стали в морской воде // Морские интеллектуальные технологии – 2016. – Т. 3, № 1. – С. 226-233.

5. Chou L., Garrels R.M., Wollast R. Comparative study of the kinetics and mechanisms of dissolution of carbonate minerals // Chem. Geol. – 1989. – № 78. – P. 269-282.

6. Compton R.G., Daly P.J. The dissolution/precipitation kinetics of calcium carbonate: An assessment of various kinetic equations using a rotating disk method // Journal of Colloid and Interface Science. – 1987. – V. 115, № 2. – P. 493-498.

7. Hartt W.H., Culberson C.H., Smith S.W. Calcareous deposits on metal surfaces in seawater – a critical review // Corrosion. – 1984. – № 40. – P. 609-618.

8. Chen T., Neville A., Yuan M. Calcium carbonate scale formation – assessing the initial stages of precipitation and deposition // Journal of petroleum science and engineering. – 2005. – № 46. – P. 185-194.

9. Cleophas Loto. Calcareous Deposits. Effects on Steels Surfaces in Seawater. A Review and Experimental Study // Oriental Journal of Chemistry. – 2018. – V. 34, № 5. – P. 2332-2341.

10. Stumm W, Morgan J., Aquatic chemistry. Chemical equilibria and rates in natural water // Wiley and Sons. Inc. – 1996. – № 1. – P. 125-127.

11. Park J.M., Lee M.H., Lee S.H., Characteristics and Crystal Structure of Calcareous Deposit Films Formed by Electrodeposition Process in Artificial and Natural Seawater // Coatings. – 2021. – V. 11, № 359. – P. 1-12.

12. Chengjie Li, Min Du, Jing Qiu, Jing Zhang, Congjie Gao. Influence of Temperature on the Protectiveness and Morphological Characteristics of Calcareous Deposits Polarized by Galvanostatic Mode // Acta Metall. – 2014. – V. 27, № 1. – P. 131-139.

13. Akamine K., Kashiki I. Corrosion

protection of steel by calcareous electrodeposition in seawater, Part 1: mechanism of electrodeposition // *Zair to Kankyo*. – 2002. – V. 51. – P. 496-501.

14. Akamine K., Kashiki I. Corrosion protection of steel by calcareous electrodeposition in seawater, Part 2: mechanism of growth // *Zair to Kankyo*. – 2003. – V. 52. – P. 401-407.

15. Карпов В.А., Ковальчук Ю.Л., Беленева И.А., Петросян В.Г. Исследование коррозии металлов в тропических морских водах // *Новости материаловедения. Наука и техника*. – 2016. – Т. 6. – С. 3-13.

16. Hartt W.H. Frank Newman Speller Award: Cathodic Protection of Offshore Structures – History and Current Status // *Corrosion*. – 2012. – V. 68, № 12. – P. 1063-1075.

17. Li C.J., Du M. The growth mechanism of calcareous deposits under various hydrostatic pressures during the cathodic protection of carbon steel in seawater // *RSC Adv*. – 2017. – V. 7. – P. 28819-28825.

18. Park J.M, Lee M.H., Lee S.H. Characteristics and Crystal Structure of Calcareous Deposit Films Formed by Electrodeposition Process in Artificial and Natural Seawater // *Coatings*. – 2021. – V. 11, № 359. – P. 1-12.

References

1. Bogorad, I. Ya., Klimova, V. A. (1973). *Corrosion and protection of marine vessels*. Leningrad: Sudostroyeniye.

2. Backman, V., Shvenk, V. (1986). *Cathodic protection against corrosion*. Moscow: Metallurgy.

3. Carré, C., Zanibellato, A., Jeannin, M., Sabot, R., Gunkel-Grillon, P., & Serres, A. (2020). Electrochemical calcareous deposition in seawater. A review. *Environmental Chemistry Letters*, (1), 25-30.

4. Chernov, B. B., Firsova, L. Yu., & Nugmanov, A. M. (2016). Patterns of formation of salt deposits during cathodic protection of steel in sea water. *Marine Intelligent Technologies*, 3(1), 226-233.

5. Chou, L., Garrels, R. M., & Wollast, R. (1989). Comparative study of the kinetics and mechanisms of dissolution of carbonate minerals. *Chem. Geol.*, 78, 269-282.

6. Compton, R. G., Daly, P. J. (1987). The dissolution/precipitation kinetics of calcium carbonate: An assessment of various kinetic equations using a rotating disk method. *Journal of Colloid and Interface Science*, 115(2), 493-498.

7. Hartt, W. H., Culberson, C. H. & Smith, S. W. (1984). Calcareous deposits on metal surfaces in seawater – a critical review. *Corrosion*, 40, 609-618.

8. Chen, T., Neville A. & Yuan, M. (2005). Calcium carbonate scale formation – assessing the initial stages of precipitation and deposition. *Journal of petroleum science and engineering*, 46, 185-194.

9. Cleophas Loto. (2018). Calcareous Deposits and Effects on Steels Surfaces in Seawater – A Review and Experimental Study. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(5), 2332-2341.

10. Stumm W, Morgan J. (1996). Aquatic chemistry. Chemical equilibria and rates in natural water. *J. Wiley and Sons. Inc.*, (1), 125-127.

11. Park, J. M., Lee, M. H. & Lee, S. H. (2021). Characteristics and Crystal Structure of Calcareous Deposit Films Formed by Electrodeposition Process in Artificial and Natural Seawater. *Coatings*, 11(359), 1-12.

12. Chengjie Li, Min Du, Jing Qiu, Jing Zhang & Congjie Gao. (2014). Influence of Temperature on the Protectiveness and Morphological Characteristics of Calcareous Deposits Polarized by Galvanostatic Mode. *Acta Metall. Sin.*, 27(1), 131-139.

13. Akamine, K., Kashiki, I. (2002). Corrosion protection of steel by calcareous electrodeposition in seawater, Part 1: mechanism of electrodeposition, *Zair to Kankyo*, 51, 496-501.

14. Akamine, K., Kashiki, I. (2003). Corrosion protection of steel by calcareous electrodeposition in seawater, Part 2: mechanism of growth. *Zair to Kankyo*, 52, 401-407.

15. Karpov, V. A., Kovalchuk, Yu. L., Beleneva, I. A. and Petrosyan, V. G. (2016). Investigation of Metal Corrosion in Tropical Marine Waters, *Materials Science News. Science and Technology*, 6, 3-13.

16. Hartt, W. H. (2012). Frank Newman Speller Award: Cathodic Protection of Offshore Structures – History and Current Status. *Corrosion*, 68(12), 1063-1075.

17. Li, C. J., Du, M. (2017). The growth mechanism of calcareous deposits under



various hydrostatic pressures during the cathodic protection of carbon steel in seawater. *RSC Adv.*, 7, 28819-28825.

18. Park, J. M. Lee, M. H. & Lee, S. H.

(2021). Characteristics and Crystal Structure of Calcareous Deposit Films Formed by Electrodeposition Process in Artificial and Natural Seawater. *Coatings*, 11(359), 1-12.

Информация об авторах

Нонг Куок Куанг, научный сотрудник, Российско-Вьетнамский Тропический центр, г. г. Нячанг, Вьетнам

Филичев Николай Леонидович, инженер, директор Российской части Приморского отделения Тропического центра, г. Нячанг, Вьетнам

Микуров Денис Сергеевич, старший инженер отдела тропикостойкости Приморского отделения Тропического центра, г. Нячанг, Вьетнам

Нгуен Ван Чи, научный сотрудник, Российско-Вьетнамский Тропический центр, г. Нячанг, Вьетнам

Донг Ван Кьен, научный сотрудник, Российско-Вьетнамский Тропический центр, г. Нячанг, Вьетнам

Ле Хонг Куан, научный сотрудник, Российско-Вьетнамский Тропический центр, г. Нячанг, Вьетнам

Као Ньят Линь, научный сотрудник, Российско-Вьетнамский Тропический центр, г. Нячанг, Вьетнам

Ануфриев Николай Геннадиевич, к.х.н., в.н.с., Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва, Российская Федерация

Information about authors

Nong Quoc Quang, Research assistant, Russian-Vietnamese Tropical Center, Nha Trang, Vietnam

Nikolay L. Philichev, engineer, Director of the Russian part of the Primorsky branch of the Tropical Center, Nha Trang, Vietnam

Denis S. Mikurov, Senior Engineer, Department of Tropical Resistance, Seaside Branch, Tropical Centre, Nha Trang, Vietnam

Nguyen Van Chi, Research assistant, Russian-Vietnamese Tropical Center, Nha Trang, Vietnam

Dong Van Kien, Research assistant, Russian-Vietnamese Tropical Center, Hanoi, Vietnam

Le Hong Quan, Research assistant, Russian-Vietnamese Tropical Center, Nha Trang, Vietnam

Cao Nhat Linh, Research assistant, Russian-Vietnamese Tropical Center, Nha Trang, Vietnam

Nikolay G. Anufriev, Ph.D. in Chemistry, leading researcher, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of RAS, Moscow, Russian Federation

В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова

Ингибирование сероводородной и углекислотной коррозии металлов. Универсализм ингибиторов

Объем издания: 15,25 п.л. (253 стр.)

Стоимость 550 руб.

В монографии обобщены литературные данные и результаты многолетних исследований, выполненных под руководством авторов по вопросам ингибирования коррозии углеродистой стали в сероводородных и углекислотных средах. Значительное внимание уделено разработке критериев защитной эффективности ингибиторов, особенностям кинетики и механизма разрушения стали в присутствии H_2S и CO_2 в слабокислых и близких к ней-

тральным минерализованным средам. Анализируется действие большого количества промышленных ингибиторов и лабораторных образцов, в том числе на основе имидазолинов, алифатических, циклических и оксиэтилированных аминов. Рассматривается их защитная эффективность, влияние на кинетику электродных реакций, бактерицидные свойства, и интегральная токсикологическая характеристика, торможение твердофазной диффузии водорода и воздействие на сохраняемость механических свойств стали в сероводородных и углекислотных средах и при совместном присутствии H_2S и CO_2 .



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-2

Композиты для химических производств

Ю.В. Холодников✉, Л.И. Альшиц, А.С. Дербышев

ООО ОКБ «Мысль»,
РФ, 620076, г. Екатеринбург, пл. Жуковского, дом 1в

e-mail: sdo_mysl@mail.ru

Аннотация. Рассматривается вопрос использования композитов на основе бис- фенольных и эпокси- нилэфирных смол в практике противокоррозионной защиты технологического оборудования, в частности - оборудования химических производств. Композиты могут использоваться как в качестве покрытий, так и в качестве конструкционных материалов при изготовлении отдельных деталей оборудования, емкостей и т.д. Композиты на основе указанных смол позволяют увеличить срок службы оборудования в несколько раз. Эти материалы имеют широкий температурный диапазон применения; могут эксплуатироваться в агрессивных сре- дах (кислоты, щелочи, окислительные среды); обладают высокой адгезией к металлу и бетону; прочностью, сопоставимой с прочностью металлов; стойкостью к ударным и динамическим нагрузкам и воздействию потока жидкости, содержащего твердую фазу.

Ключевые слова: композиты, физико-механические и физико-химические свойства, агрессивные среды, повышенная температура, коррозионная стойкость.

Для цитирования: Холодников Ю.В., Альшиц Л.И., Дербышев А.С. Композиты для химических произ- водств // Практика противокоррозионной защиты. — 2022. — Т. 27, № 1. — С. 17-31. doi: 10.31615/j.corros. prot.2022.103.1-2.

Статья получена: 09.12.2021, опубликована 01.03.2022.

Composites for chemical industries

Yu.V. Kholodnikov✉, L.I. Alshits, A.S. Derbyshev

SKB «Mysl'», LLC
1v, Zhukovsky pi., Yekaterinburg, 620076, Russian Federation

e-mail: sdo_mysl@mail.ru

Abstract. The issue of using composites based on bis-phenolic and epoxy vinyl ester resins in the practice of anti-corrosion protection of technological equipment, in particular, chemical production equipment, is considered. Composites can be used both as coatings and as structural materials in the manufacture of individual parts of equipment, containers, etc. Composites based on these resins can increase the service life of equipment several times. These materials have a wide temperature range of application; can be operated in aggressive environments (acids, alkalis, oxidizing environments); have high adhesion to metal and concrete; strength comparable to the strength of metals; resistance to shock and dynamic loads and the impact of a liquid stream containing a solid phase.

Keywords: composites, physical-mechanical and physical-chemical properties, corrosive media, elevated temperature, corrosion resistance.

For citation: Kholodnikov, Yu. V., Alshits, L. I., & Derbyshev, A. S. Composites for chemical industries. (2022). Theory and Practice of Corrosion Protection, 27(1), 17-31. doi:10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-2.

Received: December 09, 2021. Published: March 01, 2022.

Введение

Наша компания 20 лет практически ре- ализует концепцию внедрения композитов в практику защиты технологического оборудо- вания от воздействия химически-агрессив- ных производственных факторов. В цикле статей мы представим результаты лабора-

торных исследований стойкости композитов в различных химических средах: серной, соляной, фосфорной, плавиковой и азотной кислотах, а также в щелочных растворах, выполненных в лаборатории коррозионного мониторинга и защиты металлов от коррозии АО «СвердНИИхиммаш» в 2006-2017 г.г.

Анализ статистических данных о выходе из строя технологического оборудования химических производств вследствие коррозионных повреждений показывает, что разрушения из-за сплошной коррозии составляют – 31%, из-за коррозионного растрескивания – 22%, из-за питтинга – 16%, из-за межкристаллитной коррозии – 10%, из-за кавитации и эрозии – 9%, из-за коррозионной усталости – 2%, из-за других видов коррозии – 10%. Хотелось бы сразу отметить, что не только указанные выше виды коррозии воздействуют на оборудование и трубопроводы, вызывая их разрушение. Кроме них воздействуют и 10% других видов коррозии – щелевая, контактная, коррозия язвами и др. Таким образом, в условиях эксплуатации оборудования химических производств можно встретить агрессивную среду, которая сможет вызвать полный спектр разнообразного коррозионного воздействия даже на высоколегированные сплавы, из которых, как правило, оборудование и изготавливают.

Из данных [1-7] известно, что некоторые неметаллы обладают значительной химической стойкостью в кислых, нейтральных и щелочных средах и применяются для изготовления изделий и нанесения покрытий на изделия, обеспечивая тем самым их длительную эксплуатацию. Серьезным препятствием широкого применения неметаллов в различных отраслях промышленности является их низкая термостабильность, т.е. способность к разрушению при определенной температуре.

Защиту от коррозии оборудования и трубопроводов в растворах солей, кислот, щелочей и в других средах различных концентраций наиболее эффективно можно осуществить применением композитов на основе химически стойких бис-фенольных и эпоксивинилэфирных смол, которые можно использовать как в качестве покрытий, так и при изготовлении из них отдельных деталей, емкостей и пр. При этом применение композитов позволяет увеличить срок службы оборудования в несколько раз. Композиты на основе указанных смол имеют широкий температурный диапазон применения в агрессивных средах (до +160 °С), обладают высокой адгезией к металлу, бетону;

прочностью, сопоставимой с прочностью металлов; противостоят действию ударных и динамических нагрузок и стойки к воздействию потока жидкости, содержащего твердую фазу.

Следует отметить, что данные по химической стойкости неметаллических материалов, приводимые разными авторами, иногда резко различаются и пользоваться ими не рекомендуется без экспериментальной проверки применительно к конкретным условиям эксплуатации оборудования и трубопроводов.

В научно-технической литературе для сравнительной оценки стойкости неметаллов (кроме резин) пользуются изменением массы или объема образцов, иногда размера образцов, их прочности и эластичности, твердости, диэлектрических свойств. Часть испытаний проводят по соответствующим государственным стандартам, часть испытаний выполняют по специально разработанным нормативным документам. В России и за рубежом принята балльная оценка химической стойкости полимерных материалов. Так, за рубежом наиболее часто встречается четырехбалльная оценка химической стойкости пластмасс, а в России для оценки химической стойкости пластмасс используют трехбалльную систему по ГОСТ 12020-2018 «Методы определения стойкости к действию химических сред» (табл. 1).

Для испытаний из исследуемых листовых неметаллических материалов изготавливали образцы размером 20...50×30×2...5 мм, а из труб - отрезки труб высотой 30...40 мм.

Перед испытаниями поверхность образцов из неметаллических материалов подвергалась проверке на наличие вздутий, сколов, трещин, раковин и других дефектов. Дефектные образцы ремонтировали или отбраковывали. Затем образцы измеряли штангенциркулем, обезжиривали этиловым спиртом, сушили и взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,001 г. В каждом испытании использовали по три параллельных образца каждого материала.

Выдержка образцов неметаллических материалов в агрессивных средах проводилась в герметичных фторопластовых, титановых или стеклянных стаканах с крышками или в стеклянных колбах. В зависимости от

Таблица 1. Оценка стойкости неметаллических материалов по четырехбалльной и трехбалльной системам

Table 1. Evaluation of the resistance of non-metallic materials according to four point and three point systems

Оценка стойкости / Durability rating	Условное обозначение стойкости / Resistance symbol	Изменения, %, не более / Changes, %, no more	
		Массы / Masses	Прочности / Strength
Четырехбалльная система / Four point system			
Вполне стойкие / Quite resistant	В	+2	+5
Стойкие / Persistent	Х	±10	±10...15
Относительно стойкие / Relatively persistent	О	+ 15	±15.. .20
Нестойкие / Unstable	Н	Разрушается / Breaking down	
Трехбалльная система / Three point system			
Стойкие / Persistent	С	±3...5	±15
Относительно стойкие / Relatively persistent	О	+8	15 до 25
Нестойкие / Unstable	Н	более ±8	более 25

условий в емкостях поддерживалось атмосферное или повышенное давление или создавалось разрежение [8].

Размещение образцов проводилось таким образом, чтобы образцы не касались друг друга, стенок и дна стаканов или колб. Каждый материал испытывался в отдельной емкости – в стаканах из фторопласта и титана или в стеклянной колбе (рис. 1).

Внешний осмотр образцов без их выгрузки из емкостей проводился через каждые 100 часов испытаний и/или при смене раствора в емкостях. При разрушении образца или появлении на его поверхности значительных трещин, существенного изменения структуры, плотности, цвета, механических свойств образец выгружался из емкости, и испытания прекращались.

После окончания испытаний образцы неметаллических материалов промывали дистиллированной водой, протирали фильтровальной бумагой, сушили, протирали спиртом, взвешивали на аналитических весах, опре-



Рис. 1. Внешний вид установки для проведения статических испытаний образцов композитов в водных растворах при кипении

Fig. 1. Appearance of the setup for static testing of composite samples in aqueous solutions at boiling

деляли линейные размеры, оценивали изменение внешнего вида и цвета путем визуального сравнения с образцом, не подвергнутым испытанию, а также оценивали изменение механических свойств и структуры образцов материалов до и после испытаний. Изменение массы образца после испытаний в процентах привеса или потери массы вычисляли по формуле:

$$\Delta M = \frac{(M_1 - M)}{M} \cdot 100 (\%),$$

где M – масса испытуемого образца до испытаний; M_1 – масса испытуемого образца после испытаний.

При нанесении покрытия на поверхность оборудования возможно образование полостей (воздушных пузырей) между покрытием и поверхностью стали, что, при одновременном воздействии вакуума и агрессивной среды, может привести к нарушению целостности покрытия в месте образования воздушного пузыря и проникновению раствора к поверхности стали. В связи с этим проверялась стойкость покрытия к разруше-

нию, вызванному подобного рода дефектами. Для создания искусственных полостей внутри покрытия, наносимого на образцы, применялась металлическая сетка. Покрытие наносилось на предварительно подготовленную поверхность образцов из углеродистой стали Ст3сп размерами 20×40×2 мм и сеткой, сложенной в два слоя (рис. 2).

Образцы размещали в растворе и в паровой фазе на специальной подставке, на которую крепились на титановой проволоке образцы исследуемых неметаллов с изоляцией от проволоки и друг от друга фторопластовыми трубками (рис. 3). Стойкость образцов неметаллов к действию среды оценивали по изменению массы, цвета образцов и состоянию покрытия.

На рис. 4, 5 и в табл. 2 приведены результаты исследований стойкости композитов на основе винилэфирных смол в кипящей серной кислоте (концентрацией 60%) продолжительностью 24 часа и 100 часов, выполненные АО «СвердНИИхиммаш» (образцы предоставлены ООО СКБ «Мысль»).

Как видно из табл. 2, наибольшей стойкостью в растворе кипящей серной кислоты

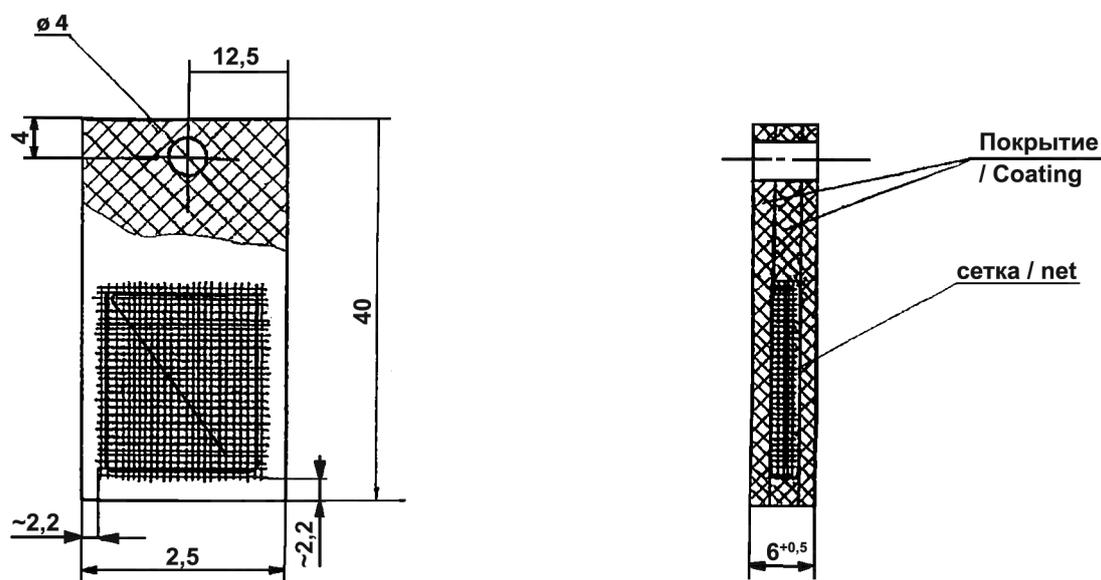


Рис. 2. Внешний вид образцов, изготовленных для испытаний покрытий в химически-агрессивном растворе при разряжении вакуумной системы

Fig. 2. Appearance of samples made for testing coatings in a chemically aggressive solution during a vacuum system discharge

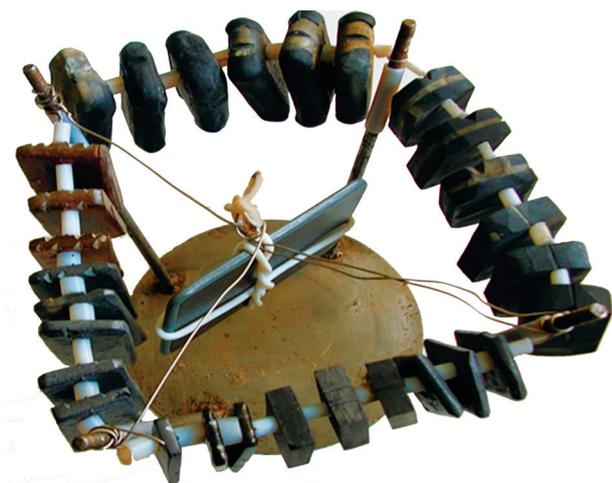


Рис. 3. Образцы неметаллических материалов, собранные в сборку на подставке, до испытаний и установки в автоклав или емкость для испытаний

Fig. 3. Samples of non-metallic materials, assembled in an assembly on a stand, before testing and installation in an autoclave or test vessel

с массовой концентрацией 60% обладали три композиционных материала на основе смол DION 9400, DION 6694 и DERAKANE 470 (изменение массы образцов соответствовало оценке стойкости «хорошая» по ГОСТ 12020-72), однако образцы всех композиционных материалов после испытаний изменили окраску. Образцы композиционных материалов на основе смол DION 9100 и ФТОРЛОН 37 в этих условиях обладали меньшей стойкостью, размягчились и изменили окраску. Изменение массы образцов композиционных материалов на основе смол DION 9100 и ФТОРЛОН 37 после испытаний соответствовало оценке стойкости «плохая» по ГОСТ 12020-72. Образец материала СИЛТЕК-1 разрушился после 24 часов и был снят с дальнейших испытаний.

По результатам испытаний в кипящем растворе серной кислоты с массовой концентрацией 60%, приведенных в табл. 2, были выбраны композиты на основе смол DION 6694 и DION 9400. Образцы компози-

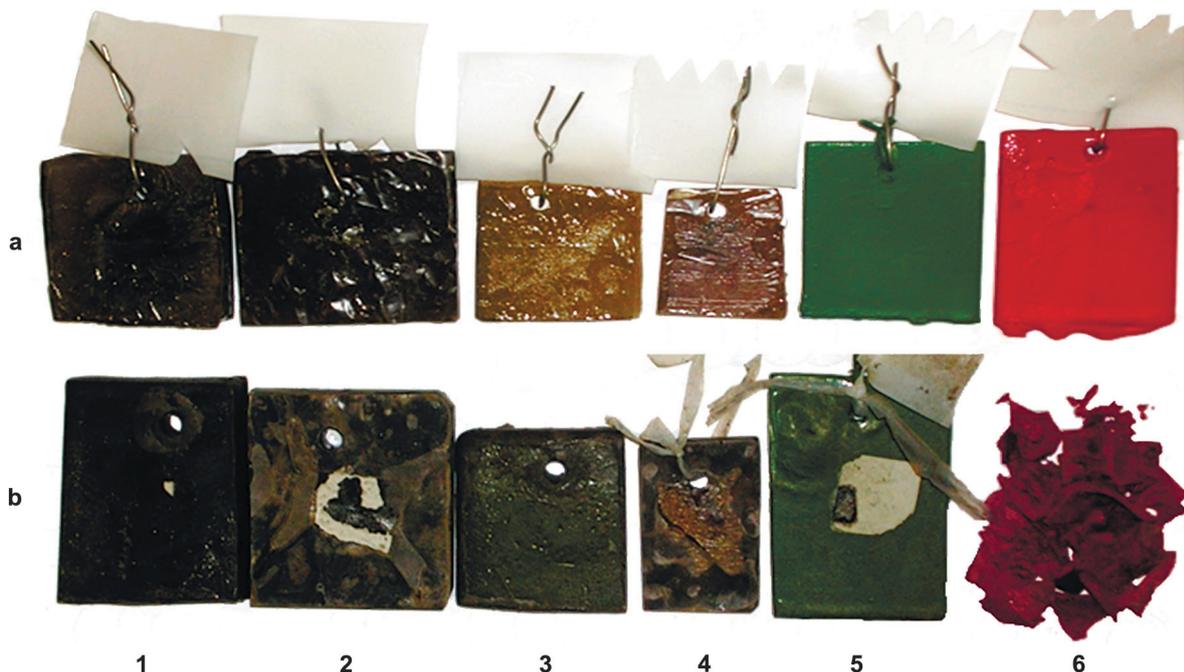


Рис. 4. Внешний вид образцов композитов (а) до и (б) после испытаний в кипящем растворе серной кислоты с массовой концентрацией 60%, продолжительностью 24 часа. 1 – DION 9100; 2 – DION 9400; 3 – DION 6694; 4 – DERAKANE 470; 5 – ФТОРЛОН 37; 6 – СИЛТЕК-1

Fig. 4. Appearance of samples of composites (a) before and (b) after testing in a boiling solution of sulfuric acid with a mass concentration of 60% for 24 hours. 1 – DION 9100; 2 – DION 9400; 3 – DION 6694; 4 – DERAKANE 470; 5 – FLUOROLON 37; 6 – SILTEK-1

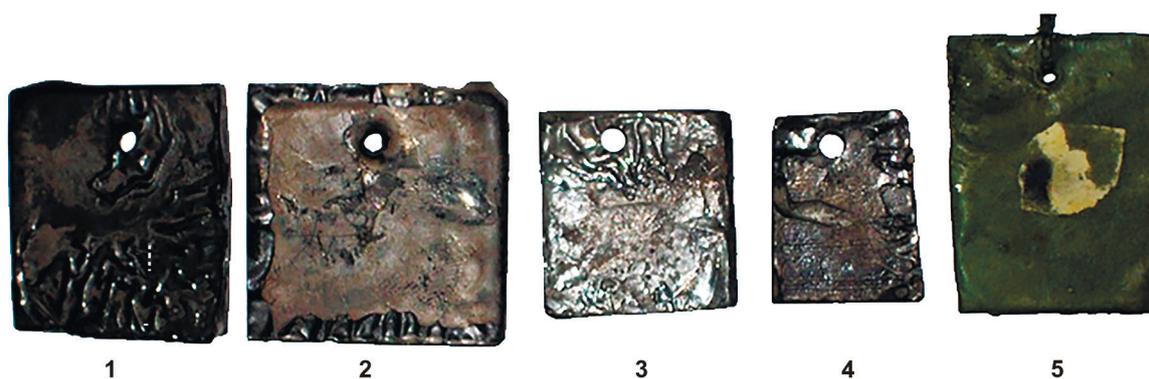


Рис. 5. Внешний вид образцов композитов после испытаний в кипящем растворе серной кислоты с массовой концентрацией 60%, продолжительностью 100 часов.

1 – DION 9100; 2 – DION 9400; 3 – DION 6694; 4 – DERAКANE 470; 5 – ФТОРЛОН 37

Fig. 5. Appearance of composite samples after testing in a boiling solution of sulfuric acid with a mass concentration of 60% for 100 hours.

1 – DION 9100; 2 – DION 9400; 3 – DION 6694; 4 – DERAКANE 470; 5 – FTORLON 37

Таблица 2. Химическая стойкость образцов композиционных материалов на основе винилэфирных смол при испытаниях в кипящем растворе серной кислоты (концентрация 60%) и продолжительностью 24 и 100 часов

Table 2. Chemical resistance of samples of composite materials based on vinyl ester resins when tested in a boiling solution of sulfuric acid (concentration 60%) for 24 and 100 hour

Материал / Material	Изменение массы, % / Mass change, %		Оценка стойкости по ГОСТ 12020-72 / Resistance assessment according to GOST 12020-72	Внешний вид покрытия после испытания / Appearance of the coating after testing
	24 ч	100 ч		
DION 9100	-2,93	-41,92	Плохая / Bad	Изменение цвета / Color change
DION 9400	-0,78	-0,794	Хорошая / Good	Изменение цвета / Color change
DION 6694	-1,26	+0,111	Хорошая / Good	Изменение цвета / Color change
DERAKANE 470	2,21	-3,078	Хорошая / Good	Изменение цвета / Color change
ФТОРЛОН 37*	2,68	-25,392	Плохая / Bad	Размягчение с одной стороны / Softening on one side
СИЛТЕК-1*	-	-	Плохая / Bad	Разрушение образца / Sample destruction

Примечание. Температура среды при испытаниях + 144 °С. (*) – ЛКМ для сравнения
/ Note. Medium temperature during tests +144 °С. (*) – LMB for comparison

Таблица 3. Химическая стойкость образцов композиционных материалов на основе импортных эпоксидных смол после испытаний в кипящем растворе серной кислоты с массовой концентрацией 60%, продолжительностью 1000 часов

Table 3. Chemical resistance of samples of composite materials based on imported epoxy resins after testing in a boiling solution of sulfuric acid with a mass concentration of 60%, for 1000 hours

Материал / Material	Изменение массы, % / Mass change, %				Оценка стойкости по ГОСТ 12020-72 / Durability rating according to GOST 12020-72	Внешний вид композита после испытания / Appearance of the composite after testing
	300 ч	580 ч	840 ч	1000 ч		
DION 6694	-4,61	-4,32	-4,92	-4,84	Хорошая / Good	Изменился цвет / Changed color
DION 9400	-5,43	-5,98	-6,53	-6,42	Хорошая / Good	Изменился цвет / Changed color

Примечание. Температура среды при испытаниях составляла 144 °С
/ Note. The temperature of the medium during the tests was 144 °С

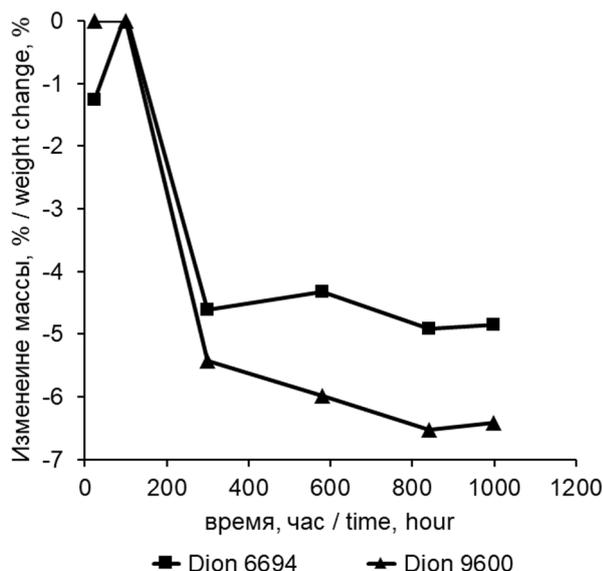


Рис. 6. График изменения массы образцов композиционных материалов при испытаниях продолжительностью 1000 час в кипящей серной кислоте с массовой концентрацией 60%

Fig. 6. Graph of the change in the mass of samples of composite materials during tests with a duration of 1000 hours in boiling sulfuric acid with a mass concentration of 60%



Рис. 7. Внешний вид образцов композитов после испытаний в кипящем растворе серной кислоты с массовой концентрацией 60%, продолжительностью 1000 часов.

1 – DION 6694; 2 – DION 9400

Fig. 7. Appearance of composite samples after testing in a boiling solution of sulfuric acid with a mass concentration of 60% for 1000 hours.

1 – DION 6694; 2 – DION 9400

тов на основе DION 6694 и DION 9400 были подвергнуты длительным испытаниям продолжительностью 1000 часов в кипящем растворе серной кислоты с массовой концентрацией 60% (табл. 3 и рис. 6, 7).

Как видно из табл. 3, изменение массы образцов композиционных материалов на основе смол DION 6694 и DION 9400 после испытаний в кипящей серной кислоте с массовой концентрацией 60%, продолжительностью 1000 часов составляло: -4,84% и -6,42%, что соответствовало оценке стойкости «хорошая» по ГОСТ 12020-72. Следует отметить, что образцы исследованных композиционных материалов потемнели после этих испытаний.

Таким образом, результаты вышеприведенных исследований показали, что в серной кислоте с концентрацией до 60% вплоть до кипения хорошей стойкостью обладают композиты на основе смол DION 6694 и DION 9400.

Испытания в динамических условиях в растворе серной кислоты с массовой концентрацией 5% при температуре 100 °С с добавлением кварцевого песка до соотношения в пульпе твердой и жидкой фаз 1:2 проведены на установке, показанной на рис. 8, а результаты этих испытаний представлены в табл. 4 и показаны на рис. 9. Испытаниям в динамических условиях в растворе серной кислоты с кварцевым песком были подвергнуты



Рис. 8. Внешний вид фторопластового держателя с установленными в нем образцами композитов для испытаний в динамических условиях

Fig. 8. External view of the fluoroplastic holder with composite samples installed in it for testing under dynamic conditions

образцы композитов на основе смол DION 9100, DION 6694, а также образцы композита на основе смолы DION 9100 с минеральными наполнителями.

Образцы композитов изготавливались в виде плоских дисков и размещались на дне автоклава из сплава 06ХН28МДТ (ЭИ943) во фторопластовом держателе образцов (рис. 9).

Как видно из табл. 4, наибольшей стойкостью среди испытанных образцов обладал композит на основе смолы DION 6694. Изменение массы его образцов составило +0,42%, что соответствовало оценке стойкости «хорошая» по ГОСТ 12020-72. Внешний вид и размеры всех испытанных образцов композитов до и после испытаний практически не изменились.

Испытания образцов композитов на основе смол DION 9100, DION 6694, DION 9100 с минеральными наполнителями в статических условиях в растворе серной кислоты с массовой концентрацией 5% при температуре 100 °С показали, что образцы сохранили цвет, изменение массы образцов композита на основе смолы DION 6694 составляли +0,30%, а образцов композита на смолах DION 9100 и DION 9100 с минеральными наполнителями не превышали -2,2% и соответствовали оценке стойкости «хорошая» по ГОСТ 12020-72.

В табл. 5 приведены результаты испытаний образцов неметаллических материалов на стойкость в сернокислотном растворе с добавлением гидросульфида натрия $NaHS$, хлорид- и фторид-ионов и ионов - деполяризаторов Fe^{3+} и Cu^{2+} .

Необходимо отметить высокую химическую стойкость образцов композитов на основе винилэфирных смол (рис. 10) и широкие технологические возможности этих композитов при изготовлении и, особенно, при ремонте оборудования, подвергнувшегося интенсивной коррозии, вплоть до сквозных поражений.

С целью определения химической стойкости композиционных материалов в мышьяк-содержащих сернокислых растворах были проведены испытания образцов в сернокислотном технологическом растворе бака-сгустителя с мешалкой линии по очистке растворов отделения очистки промышленных сред сернокислотного цеха ОАО «СУМЗ».

Были испытаны образцы композиционных материалов на основе смол следующих

Таблица 4. Химическая стойкость образцов композиционных материалов на основе винилэфирных смол после испытаний в динамических условиях в пульпе серной кислоты с массовой концентрацией 5% и кварцевого песка при соотношении твердой фазы и жидкости 1:2 и продолжительности 100 часов

Table 4. Chemical resistance of samples of composite materials based on vinyl ester resins after tests under dynamic conditions in sulfuric acid pulp with a mass concentration of 5% and quartz sand at a solid-to-liquid ratio of 1:2 and a duration of 100 hours

Материал / Material	Изменение массы, % / Weight change, %	Оценка стойкости по ГОСТ 12020-72 / Evaluation of resistance according to GOST 12020-72	Внешний вид покрытия после испытания / Appearance of the coating after testing
DION 9100	-6,92	Хорошая / Good	Разрушения с торца / End-to-end destruction
DION 6694	+0,42	Хорошая / Good	Без изменений / Without changes
DION 9100 с минеральными наполнителями / DION 9100 with mineral fillers	-2,92	Хорошая / Good	Без изменений / Without changes

Примечания: 1. Скорость потока пульпы 1 м/сек.

2. Температура среды при испытаниях равнялась 100 °С

/ Notes: 1. Pulp flow rate 1 m/s.

2. The temperature of the medium during the tests was 100 °C



Рис. 9. Внешний вид образцов композитов после испытаний в динамических условиях в пульпе серной кислоты с массовой концентрацией 5% и кварцевого песка при соотношении твердой фазы и жидкости 1:2, температуре 100 °С, скорости потока 1 м/сек и продолжительности 100 часов.

1 – DION 6694; 2 – DION 9100, 3 – DION 9100 с минеральными наполнителями

Fig. 9. Appearance of composite specimens after testing under dynamic conditions in sulfuric acid slurry with a mass concentration of 5% and quartz sand at a solid-to-liquid ratio of 1:2, a temperature of 100 °C, a flow rate of 1 m/s and a duration of 100 hours.

1 – DION 6694; 2 – DION 9100, 3 – DION 9100 with mineral fillers

Таблица 5. Стойкость образцов неметаллических материалов при испытаниях в лабораторных условиях в растворе H_2SO_4 с концентрацией 40 г/л, $NaHS$ 8,6 г/л, NaF 1,1 г/л, $NaCl$ 0,64 г/л, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0,95 г/л, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,29 г/л

Table 5. Resistance of samples of non-metallic materials when tested in laboratory conditions in a solution of H_2SO_4 with a concentration of 40 g/l, $NaHS$ 8,6 g/l, NaF 1,1 g/l, $NaCl$ 0,64 g/l, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0,95 g/l, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,29 g/l

Материал / Material	Изменение массы, % / Mass change, %	Оценка стойкости по нормативному документу / Evaluation of resistance according to the normative document
Стеклопластик СТЭФ, лист 6-1,6 мм / Fiberglass STEF, sheet 6-1.6 mm	5,50	Хорошая (ГОСТ 12020-72) / Good (GOST 12020-72)
DuPont Asplit	0,11	Хорошая (ГОСТ 12020-72) / Good (GOST 12020-72)
DION 6694	0,03	Хорошая (ГОСТ 12020-72) / Good (GOST 12020-72)
DION 9100	0,09	Хорошая (ГОСТ 12020-72) / Good (GOST 12020-72)

Примечания: 1 - Температура сернокислого раствора 50 °С.

2 - Продолжительность испытаний 75 часов

/ Notes: 1 - Sulfuric acid solution temperature 50 °C.

2 - Test duration 75 hours

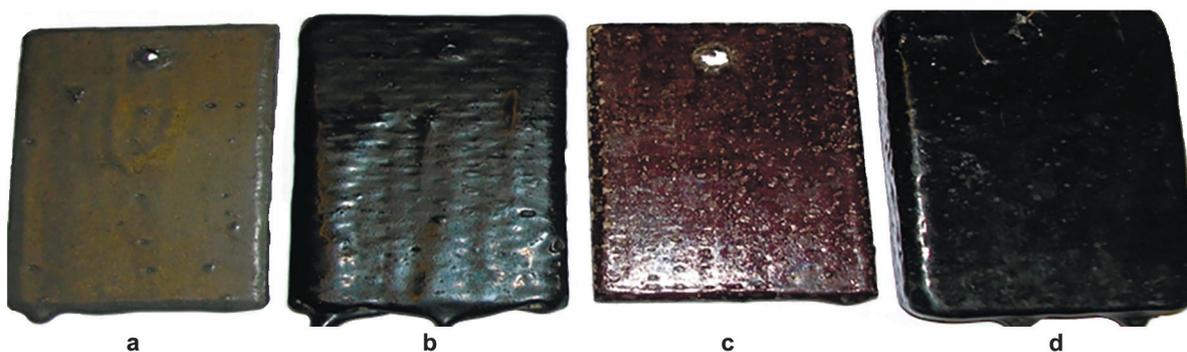


Рис. 10. Внешний вид образца композита DuPont Asplit (a), образца Лепта 12К* (b), композиты на основе смол DION 6694 (c) и DION 9100 (d) после лабораторных испытаний в сернокислом растворе с концентрацией кислоты 40 г/л и добавками $NaHS$ 8,6 г/л, NaF 1,1 г/л, $NaCl$ 0,64 г/л, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0,95 г/л, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,29 г/л при температуре 50 °С и продолжительности 75 часов. (*) – резина для сравнения

Fig. 10. Appearance of a DuPont Asplit composite sample (a), a Lepta 12K* sample (b), composites based on DION 6694 resins (c) and DION 9100 (d) after laboratory tests in a sulfuric acid solution with an acid concentration of 40 g/l and $NaHS$ 8,6 g/l, NaF 1,1 g/l, $NaCl$ 0,64 g/l, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0,95 g/l, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,29 g/l at a temperature of 50 °C and a duration of 75 hours. (*) – rubber for comparison

марок: DION 6694, DION 9100, DION 9400 и DERAKANE 470.

Испытания образцов композиционных материалов на химическую стойкость проводились в технологическом растворе бака-сгустителя с мешалкой линии по очистке растворов отделения очистки промышленных сред сернокислотного цеха ОАО «СУМЗ». Температура раствора при испытаниях образцов композиционных материалов была близка 50 °С, продолжительность испытаний составила около 17 суток (406 часов).

В табл. 6 и на рис. 11 приведены результаты испытаний образцов композиционных материалов на основе винилэфирных смол в технологическом растворе бака-сгустителя с мешалкой.

Из табл. 6 и рис. 11 следует, что все испытанные образцы композиционных материалов обладали хорошей стойкостью по ГОСТ 12020-72 в технологическом мышьяк-содержащем сернокислотном растворе бака-сгустителя с мешалкой линии по очистке растворов на ОАО «СУМЗ». Наибольшей стойкостью при испытаниях в технологиче-

ском растворе бака-сгустителя обладали образцы композиционного материала на смоле DION 9400 (изменение массы составляло 0,05 %), несколько меньшую стойкость имели образцы композита DERAKANE 470 (изменение массы составляло 0,12 %), при этом размеры, внешний вид и состояние поверхности образцов всех исследованных композитов после испытаний остались неизменными.

В табл. 7 приведены результаты испытаний образцов композиционных материалов на основе винилэфирных смол в растворе серной кислоты с концентрацией 250 г/л при температуре 70 °С.

Все испытанные образцы композиционных материалов обладали хорошей стойкостью по ГОСТ 12020-72 в растворе серной кислоты с концентрацией 250 г/л. Однако поверхность образцов всех исследованных композитов на основе смол DION 6694, DION 9100, DION 9400 и DERAKANE 470 после эксперимента несколько потемнела, а на образцах DERAKANE 470 поверхность в некоторых местах стала матовой. Наибольшей стойкостью в растворе с кон-

Таблица 6. Стойкость образцов композиционных материалов на основе винилэфирных смол при испытаниях в технологическом растворе бака-сгустителя с мешалкой

Table 6. Resistance of samples of composite materials based on vinyl ester resins when tested in a technological solution thickening tank with agitator

Материал / Material	Изменение массы, % / Mass change, %	Оценка стойкости по ГОСТ 12020-72 / Evaluation of resistance according to GOST 12020-72
DERAKANE 470	0,12	Хорошая / Good
DION 6694	1,38	Хорошая / Good
DION 9100	0,36	Хорошая / Good
DION 9400	0,05	Хорошая / Good

Примечания: 1. Продолжительность испытания 406 ч;

2. Температура раствора в технологическом растворе бака-сгустителя с мешалкой линии по очистке растворов отделения очистки промышленных сред 50 °С
/ Notes: 1. Test duration 406 hours.

2. The temperature of the solution in the process solution of the thickener tank with a stirrer of the line for cleaning solutions of the industrial media purification department 50 °С

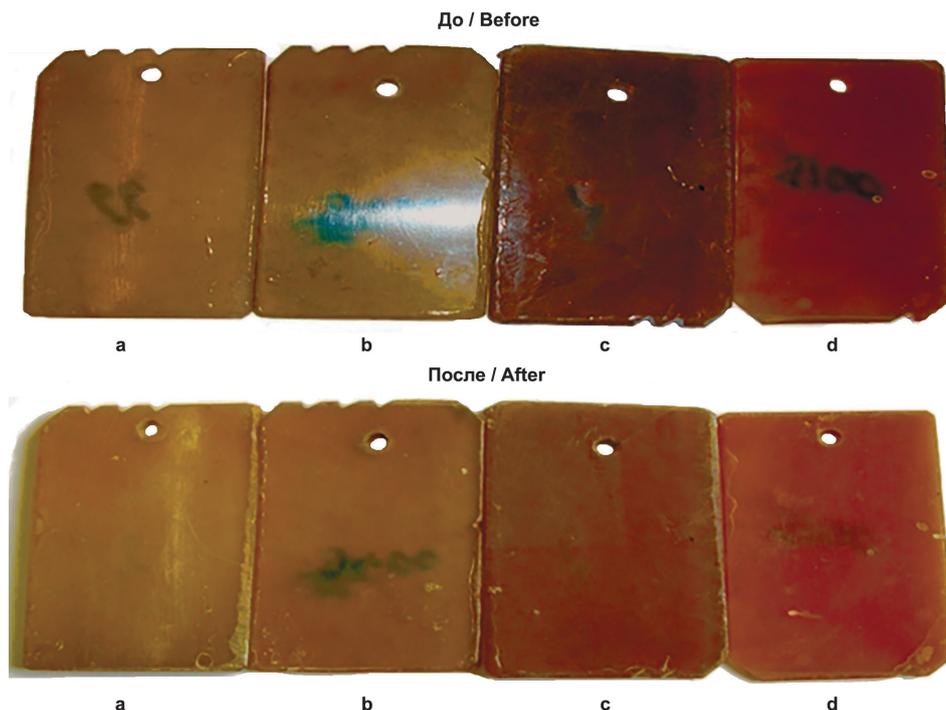


Рис. 11. Внешний вид образцов композитов до (верхний ряд) и после (нижний ряд) испытаний в технологическом растворе бака-сгустителя с мешалкой линии по очистке растворов отделения очистки промышленных сред сернокислотного цеха ОАО «СУМЗ» при температуре 50 °С и продолжительности 406 часов. а – DION 6694; б – DION 9400; с – DERAКANE 470; д – DION 9100

Fig. 11. Appearance of composite samples before (upper row) and after (lower row) tests in the process solution of a thickener tank with a stirrer of the solution purification line of the industrial media purification department of the sulfuric acid shop of SUMZ JSC at a temperature of 50 °C and duration 406 hours. a – DION 6694; b – DION 9400; c – DERAКANE 470; d – DION 9100

Таблица 7. Стойкость образцов композиционных материалов на основе винилэфирных смол в растворе 250 г/л H_2SO_4

Table 7. Resistance of samples of composite materials based on vinyl ester resins in a solution of 250 g/l H_2SO_4

Материал / Material	Изменение массы, % / Mass change, %	Оценка стойкости по ГОСТ 12020-72 / Evaluation of resistance according to GOST 12020-72
DERAKANE 470	0,62	Хорошая / Good
DION 6694	0,14	Хорошая / Good
DION 9100	0,36	Хорошая / Good
DION 9400	0,74	Хорошая / Good

Примечания: 1. Продолжительность испытания 48 ч.
2. Температура раствора 70 °С

Notes: 1. Test duration 48 hours.
2. Solution temperature 70 °C

центрацией 250 г/л H_2SO_4 обладали образцы композиционного материала на основе смолы DION 6694.

Следует отметить широкие возможности применения в агрессивных сернокислотных средах изделий и покрытий из композитов на основе винилэфирных смол (рис. 12, 13), которые имеют следующие преимущества:

- высокая ударная и вибрационная прочность покрытий на основе композитов;
- большой диапазон рабочих температур без потери защитных свойств;
- ремонтпригодность композитов, позволяющая восстанавливать поврежденные участки покрытия без демонтажа оборудования;
- высокая химическая стойкость покрытия в большом спектре агрессивных сред;
- высокая прочность покрытий и стойкость к эрозионному износу;
- полимеризация нанесенных покрытий происходит в атмосферных условиях при температуре окружающей среды;
- возможность применения в конструкциях, эксплуатируемых в химически агрессивных средах, дешевых металлов, например, углеродистой стали с защитным композитным покрытием взамен дорогих коррозионностойких металлов и сплавов.

При выборе композитов в качестве конструкционных материалов или покрытий для изготовления оборудования, эксплуатируемого в горячих агрессивных средах, следует руководствоваться литературными данными об их термостабильности при рабочих температурах эксплуатации оборудования, а также провести дополнительную экспериментальную оценку термостабильности в рабочей среде при максимальной рабочей температуре эксплуатации проектируемого оборудования.

Рассматривая совокупность признаков, определяющих целесообразность применения того или иного вида защитного материала, для изделий, эксплуатируемых в особо опасных производственных условиях, следует констатировать, что на данный момент времени защита композиционными материалами является наиболее предпочтительным видом защиты, ввиду своей универсальности, отличной химической стойкости, технологичности и наличия

явных эксплуатационных преимуществ. Опыт работы с защитными покрытиями из композитов показывает, что гарантированный срок службы таких систем составляет не менее 10 лет.

Многочисленные технологии и способы защиты оборудования и строительных конструкций от воздействия агрессивных производственных факторов с помощью



Рис. 12. Контактный чан вместимостью 400 м³, футерованный химстойким композитом, в сернокислотном цехе АО "СУМЗ" г. Ревда

Fig. 12. Contact vat with a capacity of 400 m³, lined with a chemically resistant composite, in the sulfuric acid shop of SUMZ, JSC, Revda



Рис. 13. Футеровка емкостных аппаратов химстойким композитом в цехе сернокислотного выщелачивания на Степногорском ГХК (Республика Казахстан)

Fig. 13. Lining of capacitive vessels with a chemically resistant composite in the sulfuric acid leaching shop at the Stepnogorsk Mining and Chemical Combine (Republic of Kazakhstan)



композиционных материалов достаточно подробно описаны в литературе [9-12], а их эффективность подтверждена 20-летним опытом работы на промышленных предприятиях различной ведомственной подчиненности.

Литература

1. Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – М.: Химия, 1975. – 815 с.
2. Машиностроительные материалы. Краткий справочник / Под ред. В.М. Раскатова. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
3. Коррозия. Справ. изд./ Под ред. Л.Л. Шрайера. Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1981. – 632 с.
4. Коррозионная и химическая стойкость материалов. Справочник / Под ред. Н.А. Доллежаля. – М.: Машгиз, 1954. – 570 с.
5. Каменев Е.И. и др. Применение пластических масс / Справочник. – Л.: Металлургия, 1985. – 448 с.
6. Калинин Э.А., Соковцева М.Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий / Справочное издание. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
7. Кацнельсон Э.Л., Балаев Г.А. Пластические массы. Свойства и применение / Справочник. – Л.: Химия, 1978. – 384 с.
8. Дербышев А.С. Разработка технических материалов и рекомендаций по применению неметаллов в качестве конструкционных материалов и покрытий оборудования и трубопроводов вакуум-выпарных и кристаллизационных установок АО «СвердНИИХиммаш» (справочное пособие) / г. Екатеринбург: СвердНИИХиммаш, 2019. – 293 с.
9. Холодников Ю.В., Апышиц Л.И. и др. Промышленные композиты. Возможности и перспективы. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. GmbH & Co. KG, 2016. – 455 с.
10. Холодников Ю.В., Альшиц Л.И. Футеровка технологического оборудования и строительных конструкций композиционными материалами. Справочное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горного ун-та, 2013. – 145 с.
11. ГОСТ Р 55073-2012. Химстойкие по-

лимерные композиты для ремонта технологических трубопроводов.

12. ГОСТ Р 55074-2012. Химстойкие полимерные композиты для футеровки технологических емкостей.

References

1. Vorobieva, G. Ya. (1975). *Corrosion resistance of materials in aggressive environments of chemical industries*. Moscow: Chemistry.
2. Raskatova, V. M. (Ed.) (1980). Quick reference. *Engineering materials*. Moscow: Mashinostroenie.
3. Schreyer, L. L. (Ed.) (1981). Reference book. *Corrosion*. Moscow: Metallurgy.
4. Dollezhal', N. A. (Ed.) (1954). Reference book. *Corrosion and chemical resistance of materials*. Moscow: Mashgiz.
5. Kamenev, E. I. etc. (1985). Reference book. *The use of plastics*. Leningrad: Metallurgy.
6. Kalinchev, E. A., Sokovtseva, M. B. (1987). Reference edition. *The choice of plastics for the manufacture and operation of products*. Leningrad: Chemistry.
7. Katsnelson, E. L., Balaev, G. A. (1978). Handbook. *Plastic masses. Properties and application*. Leningrad: Chemistry.
8. Derbyshev, A. S. (2019). Reference book. *Development of technical materials and recommendations for the use of non-metals as structural materials and coatings for equipment and pipelines of vacuum evaporators and crystallization plants of SverdNIIXimmash JSC*. Yekaterinburg: SverdNIIXimmash.
9. Kholodnikov, Yu. V., Alshits, L. I. and others. (2016). *Industrial composites. Opportunities and prospects*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. GmbH & Co.
10. Kholodnikov, Yu. V., Alshits, L. I. (2013). Reference manual. *Lining of technological equipment and building structures with composite materials*. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural State Mining University.
11. Chemical-resistant polymer composites for the repair of technological pipelines. (2012). *GOST R 55073-2012*.
12. Chemical-Resistant Polymer Composites for Lining Process Vessels. (2012). *GOST R 55074-2012*.



Информация об авторах

Холодников Юрий Васильевич, к.т.н., генеральный директор, ООО ОКБ «Мысль», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Альшиц Леонид Исаакович, к.т.н., ООО ОКБ «Мысль», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Дербышев Александр Семенович, зав. лаб. коррозионного мониторинга, ООО ОКБ «Мысль», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Information about authors

Yury V. Kholodnikov, Ph.D. in Technical Sciences, General Director, SKB «Mysl'», LLC, Yekaterinburg, Russian Federation

Leonid I. Alshits, Ph.D. in Technical Sciences, SKB «Mysl'», LLC, Yekaterinburg, Russian Federation

Alexander S. Derbyshev, Head of the corrosion monitoring laboratory, SKB «Mysl'», LLC, Yekaterinburg, Russian Federation

В.И. Хижняков

Коррозионное растрескивание трубопроводов под напряжением при транспорте нефти и газа

Объем издания: 11 п.л. (176 стр.).

Стоимость 400 руб.

В монографии обобщен опубликованный материал по коррозионному растрескиванию напряженно-деформированных трубопроводов при транспорте нефти и газа, приведены результаты многолетних исследований, выполненных под руководством автора, по вопросам коррозионного растрескивания катоднозащитаемой поверхности трубных сталей ферритно-перлитного класса. Значительное внимание уделено

разработке новых критериев выбора режимов катодной защиты подземных стальных трубопроводов, позволяющих в экспрессном режиме определять остаточную скорость коррозии и степень электролитического наводороживания трубных сталей при различных напряжениях и потенциалах катодной защиты в нейтральных и слабокислых грунтах в присутствии H_2S и CO_2 . Проанализированы режимы катодной защиты магистральных нефтегазопроводов, где обнаружены стресс-коррозионные трещины на внешней катоднозащитаемой поверхности. Рассмотрены условия электролитического наводороживания стенки трубопроводов различного диаметра: 1420...1426 мм при перезащите, когда катоднозащитаемая поверхность трубопровода и прилегающий электролит достигают определенной степени пересыщения и возникновение водородных пузырьков становится возможным. Показано, что на трубопроводах большого диаметра – 1020...1420 мм – наиболее интенсивно электролитическое наводороживание стенки происходит у нижней образующей (под трубой), где процесс молизации и отток водорода затруднен. На трубопроводах диаметром менее 720 мм кривизна трубы начинает оказывать влияние на величину краевого угла смачивания Θ водородного пузырька у нижней образующей. Рост угла смачивания Θ и заметное отделение пузырьков водорода от нижней образующей трубы начинается, когда диаметр трубы меньше 500...600 мм. На трубах диаметром менее 500...600 мм увеличение угла смачивания пузырьков водорода у нижней образующей приводит к увеличению их диаметра; пузырьки начинают подниматься вверх по образующей трубы, что приводит к снижению степени заполнения катоднозащитаемой поверхности у нижней образующей трубы, чего не наблюдается на трубах диаметром более 720 мм.



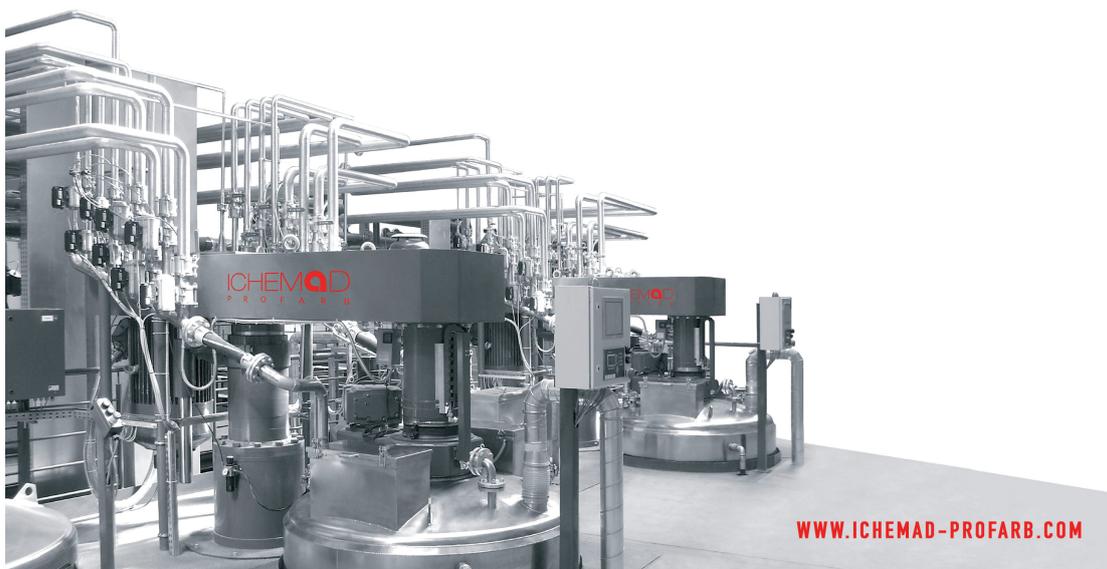
PROF LINE

ПРОФЛАЙН - ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ PROFARB В РОССИИ
WWW.PROFLINE-TECH.RU

ЕВРОПЕЙСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРИЯ

ICHEMAD
P R O F A R B

ДЛЯ
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ





**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-3

**Агрессивостойкие жидкие гуммировочные составы
для антикоррозионной защиты емкостного оборудования**

Ю.В. Семенов, К.Ю. Зерщиков✉, Н.А. Слепокуров

ООО «Константа-2»,
РФ, 400120, г. Волгоград, ул. Елисеева, д. 3

e-mail: secret@constanta-2.ru

Аннотация. Рассмотрены современные тенденции развития в сфере материалов для антикоррозионной защиты. Показано, что одним из перспективных направлений является разработка технологии получения гуммировочных покрытий из растворов стирольных блок-сополимеров методами лакокрасочной технологии. Описаны новые материалы, рассмотрены их основные преимущества, области и опыт применения. Отмечена высокая эффективность разработанных и внедренных составов в сфере антикоррозионной защиты.

Ключевые слова: гуммирование, стирольные блок-сополимеры, антикоррозионная защита.

Для цитирования: Семенов Ю.В., Зерщиков К.Ю., Слепокуров Н.А. Агрессивостойкие жидкие гуммировочные составы для антикоррозионной защиты емкостного оборудования // Практика противокоррозионной защиты. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 33-40. doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-3.

Статья получена: 16.02.2022, опубликована 01.03.2022.

**New generation anticorrosive materials based
on styrene block copolymers**

Yu.V. Semenov, K.Yu. Zershchikov✉, N.A. Slepokurov

Constant-2, LLC,
3, Eliseeva str., Volgograd, 400120, Russian Federation

e-mail: secret@constanta-2.ru

Abstract. The modern trends of development in the field of materials for anticorrosive protection are considered. It is shown that one of the promising directions is the development of technology for obtaining gumming coatings from solutions of styrene block copolymers by methods of paint and varnish technology. New materials are described, their main advantages, areas and application experience are considered. The high efficiency of the developed and implemented compositions in the field of anticorrosive protection was noted.

Keywords: gumming, styrene block copolymers, anticorrosive protection.

For citation: Semenov, Yu. V., Zershchikov, K. Yu., & Slepokurov, N. A. (2022). New generation anticorrosive materials based on styrene block copolymers. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 27(1), 33-40. doi:10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-3.

Received: February 16, 2022. Published: March 01, 2022.

Введение

Требования повышения конкурентоспособности продукции и снижения стоимости жизненного цикла, безусловно, остаются актуальными и в настоящее время, даже несмотря на появление новых трендов — необходимости снижения углеродного следа и общего объема выбросов в результате антропогенной деятельности. Выполнить их невозможно без развития современных высокопроизводительных, энергетически экономных технологий с применением рецеп-

куруемых материалов. Безусловно, эти требования актуальны и в области техники противокоррозионной защиты, которая на сегодняшний день остается одним из основных способов сохранения длительной работоспособности главного конструкционного материала — стали. Реализация этих задач невозможна без создания отечественных надежных, простых в эксплуатации, доступных, технологичных, ремонтпригодных антикоррозионных покрытий. Кроме того, нынешняя внешнеэкономическая ситуация

ограничивает возможность использования современных зарубежных материалов и технологий. В связи с этим, перед разработчиками и производителями антикоррозионных материалов стоят задачи поиска внутренних научно-технологических резервов для создания собственных разработок и их внедрения с целью удовлетворения современных требований.

Рассмотрим известные в настоящее время и применяющиеся в России схемы антикоррозионной защиты емкостного металлического оборудования, подвергающегося воздействию агрессивных агентов (табл. 1).

Наибольшее распространение, в силу своей технологичности, получили эпоксидные, эпоксифенольные материалы, отлично защищающие от щелочных сред, технологичные, но недостаточно стойкие в растворах кислот. Для защиты в атмосфере предприятий и для работы в слабых растворах кислот продолжают применять

поливинилхлоридные материалы, которые обладают удовлетворительными защитными свойствами, но менее технологичны из-за малого сухого остатка и, соответственно, необходимости нанесения большого количества слоев, кроме того, они не стойки в растворах щелочей. Расширяется применение полиуретановых покрытий, но, занимая лидирующие позиции по атмосферостойкости, они неудовлетворительно работают в кислых средах, то же относится к цинкэтилсиликатным и другим цинкнаполненным покрытиям. В рассмотренных выше лакокрасочных покрытиях защита осуществляется преимущественно по «адгезионному» механизму. Получение покрытий большой толщины для достижения «барьерного» эффекта методами лакокрасочных технологий практически невозможно, во-первых, из-за большой длительности технологического цикла, во-вторых, при таких значениях толщины антикоррозионного покрытия высока вероятность

Таблица 1. Сравнительная характеристика существующих схем антикоррозионной защиты
Table 1. Comparative characteristics of existing schemes of anti-corrosion protection

Материал / Material	Технологичность / Manufacturability	Экономичность / Economy	Химстойкость / Chemical resistance	Долговечность / Durability	Теплостойкость / Heat resistance
ЛКМ на основе эпоксидных смол / Coatings based on epoxy resins	+	+	±	±	±
ЛКМ на основе поливинилхлоридных смол / Coatings based on polyvinyl chloride resins	±	+	±	±	–
Жидкие гуммировочные составы / Liquid gumming compounds	+	±	+	+	±
ЛКМ на основе полиуретановых смол / Coatings based on polyurethane resins	+	±	–	±	±
Листовые гуммировочные резины / Sheet gumming rubber	–	–	+	+	±

+ хорошо / okay; ± удовлетворительно / satisfactorily; – плохо / poorly

растрескивания или отслаивания покрытия из-за высокого уровня внутренних напряжений [1].

Защита металла методом гуммирования каландрованной резиной осуществляется по механизму «барьерного» типа, то есть за счет полного воспрепятствования проникновению агрессивной среды к защищаемой поверхности [2]. Это один из самых надежных, с точки зрения защиты от коррозии, способов, что объясняется высокой химической стойкостью, низкой диффузионной проницаемостью, суммарно приводящих к повышенной долговечности гуммированных аппаратов. Однако существующие технологии гуммирования имеют несколько существенных недостатков. Во-первых, для производства качественного резинового полотна и клеевых композиций требуется наличие современного работоспособного энергоемкого оборудования и квалифицированного персонала. Длительность сроков изготовления, усугубляемая сбоями в цепочках поставок и неприемлемое качество получаемого гуммировочного полотна приводят к срывам сроков выполнения ремонтных работ. Ограниченный срок и высокие требования к условиям хранения гуммировочных материалов не позволяют формировать стратегический складской запас на случай срочного выполнения текущих заказов. Во-вторых, технология гуммирования предъявляет высокие требования к качеству защищаемой поверхности, что ограничивает ее использование для капитального ремонта емкостного оборудования, бывшего в эксплуатации. В-третьих, формирование покрытия происходит за счет высокотемпературной вулканизации острым паром под высоким давлением, что, в свою очередь, ограничивает его применение для емкостей, работающих при атмосферных условиях, и практически исключает возможность реализации локального ремонта. В-четвертых, процесс оклейки рулонными резиновыми смесями должен производиться высококвалифицированным персоналом вручную, что в купе с большими расходами материала (до 15 кг/м²), обуславливает высокую их себестоимость. Это значительно ограничивает применение такого вида антикоррозионной защиты в условиях отсутствия системы обучения и обе-

спечения преимущества кадров. Все эти недостатки привели к необходимости создания и внедрения альтернативной технологии антикоррозионной защиты.

В связи с вышесказанным, альтернативная система антикоррозионного покрытия должна характеризоваться высоким уровнем адгезии к защищаемой подложке («адгезионный» механизм) и отличными антидиффузионными свойствами («барьерный» механизм), которых можно достичь, в частности, за счет формирования поперечных сшивок различной природы и возможности увеличения толщины покрытия. Снижение значений внутренних напряжений при увеличенной толщине можно получить, используя пленкообразующие с низким модулем упругости и высокими эластическими свойствами. Другим существенным преимуществом эластичных покрытий является высокая стойкость к воздействию абразива и механических нагрузок, что немаловажно в случае антикоррозионной защиты внутренней поверхности оборудования, загружаемого фильтрующими материалами (кольца Рашига, кварцевый песок, ионообменные смолы и т.п.). Очевидно, что сам материал покрытия должен характеризоваться достаточно высокой химической стойкостью к агрессивным средам.

На основе проведенного анализа, с учетом всех вышеперечисленных факторов было разработано антикоррозионное покрытие «Констакор-ТЭП» на основе химически структурированного диен-стирольного термоэластопласта, обладающее следующими особенностями:

- покрытие наносят методами лакокрасочных технологий: кисть, валик, методы воздушного и безвоздушного напыления;
- формирование покрытия и структурирование с образованием поперечных связей происходит при нормальных температурах и не требует наличия высоких температур, в том числе острого пара;
- покрытие имеет повышенную долговечность, так как материал покрытия характеризуется высоким уровнем упруго-прочностных и антикоррозионных свойств;
- покрытие обладает высокой химической стойкостью к растворам кислот и щелочей средней концентрации, нефтепродуктам;

• за счет адгезионного и барьерного типа защит, покрытие обладает низкой диффузионной проницаемостью для агрессивных агентов.

Жидкий гуммировочный состав “Констакор-ТЭП” представляет собой двухкомпонентный материал. Состав может наноситься непосредственно на металл или на грунт “Констакор-Праймер” в зависимости от условий эксплуатации. Степень подготовки поверхности защищаемого металла – Sa 2^{1/2} по ИСО 8501-1:1988. Рекомендуемая шероховатость поверхности 40...60 мкм. Рекомендуемая толщина покрытия 0,8...1 мм. Основные эксплуатационные и технико-экономические характеристики разработанного гуммировочного состава, в сравнении с наиболее распространенной гуммировочной системой на основе листовой резиновой смеси ГХ-2566 (аналог 60-341), представлены в табл. 2. Как видно из табл. 2, антикоррозионный гуммировочный состав “Констакор-ТЭП” превосходит стандартную гуммировочную

резину по ряду физико-механических и эксплуатационных показателей. Благодаря механизации процесса нанесения покрытия (метод безвоздушного распыления), производительность труда при выполнении антикоррозионных работ значительно выше. Данный фактор, в совокупности с низким значением практического расхода материалов, способствует значительному снижению себестоимости одного квадратного метра готового покрытия.

Ускоренные лабораторные испытания и первые результаты промышленных испытаний на реальных объектах позволяют утверждать, что “Констакор-ТЭП” не уступает по агрессивостойкости наиболее распространенным маркам гуммировочных резин на основе каучуков общего назначения и может эксплуатироваться в условиях воздействия серной (до 40% масс.), соляной (до 36% масс.) и азотной (до 10% масс.) кислот, а также концентрированных растворов калиевой и натриевой щелочи (до 40% масс.)

Таблица 2. Сравнительные эксплуатационные и технико-экономические характеристики лакокрасочного состава “Констакор-ТЭП” и листовой гуммировочной резины марки ГХ-2566 (аналог 60-341)

Table 2. Comparative operational and technical and economic characteristics of the paint and varnish composition «Konstakor-TEP» and rubber sheet rubber grade GH-2566 (analogue 60-341)

Наименование показателя / Name of indicator	Антикоррозионный материал / Anti-corrosion material	
	“Констакор-ТЭП” / “Constakor-TEP”	Резина ГХ-2566 / Rubber GH-2566
Условная прочность в момент разрыва, МПа / Conditional strength at the moment of rupture, MPa	10,0	5,0
Относительное удлинение в момент разрыва, % / Relative elongation at break, %	700	550
Твердость, Шор А, усл. ед. / Hardness, Shore A, arb. Units	65...75	40...55
Прочность связи при отслаивании от стали Ст3, кгс/см / Bond strength when peeling from steel St3, kgf/cm	6,8	5,0
Практический расход, кг/м ² / Practical consumption, kg/m ²	3,2	6,2
Производительность труда при нанесении, м ² /чел·час / Labor productivity during application, m ² /person·hour	0,83	0,40
Относительная себестоимость, усл. ед. / Relative cost, arb. units	0,5	1,0
Среднестатистический срок эксплуатации, лет / Average service life, years	Более 10 лет	8...10 лет



в диапазоне температур 5...80 °С, кратковременно до + 95 °С.

Производство жидких гуммировочных составов не требует наличия громоздкого и уникального энергоемкого оборудования. Это позволило значительно сократить срок наработки необходимого количества материала к заданным срокам. Кроме того, технология производства таких материалов позволяет автоматизировать процессы дозирования, контролировать время и интенсивность компаундирования. Такой подход обеспечивает производство качественного продукта благодаря снижению влияния человеческого фактора. Длительный опыт хранения готового продукта показал возможность использования его в производстве в течение года с момента выпуска. Это значительно упрощает процедуру подготовки к выполнению антикоррозионных работ и позволяет обеспечить необходимый складской запас.

Формирование покрытия из материала «Констакор-ТЭП» реализуется методами лакокрасочных технологий. Это позволяет предъявлять менее жесткие требования к качеству защищаемой поверхности. Если для гуммирования наличие локальных раковин или неровностей, вызванных коррозией в процессе эксплуатации, ограничивает его применение, то в случае составов серии Констакор такие дефекты допустимы и легко нейтрализуются в процессе нанесения покрытия. Такая технология нанесения позволяет производить гуммирование оборудования, не предназначенного для работы в условиях высокого давления, защищать элементы обвязки и запорно-регулирующей арматуры, производить локальный ремонт не только исходного покрытия, но и любого другого варианта гуммировки после эксплуатации при нормальных условиях. Использование механизированного способа нанесения методом безвоздушного распыления позволяет значительно увеличить производительность труда при выполнении антикоррозионных работ.

Формирование покрытия происходит в результате двух последовательно протекающих процессов: удаления растворителя и низкотемпературного химического структурирования («холодная вулканизация»),

в результате чего получается покрытие, по физико-механическим характеристикам не уступающее гуммировочным: высокая прочность, способность к обратимой (эластичной) деформации и, соответственно, возможность выдерживать без нарушения сплошности деформации резервуаров, долговечность за счет высоких показателей механической и адгезионной прочности, низкая проницаемость и стойкость к эрозионному воздействию среды (пульпы). Материал характеризуется низким коэффициентом старения не только в условиях высоких температур, но и при воздействии атмосферных условий, в частности УФ-облучения, что позволило использовать данные материалы для гидроизоляции бетонных поверхностей.

«Констакор-ТЭП» ТУ 2513-003-34734672-2007 является наиболее востребованной маркой материалов серии «Констакор»®. Состав предназначен для антикоррозионной защиты емкостного оборудования цехов химводоподготовки теплоэлектростанций, работающего в условиях воздействия агрессивных сред кислотного и щелочного характера. Для увеличения адгезионных характеристик, в случае защиты оборудования с сильно изъеденной поверхностью и повышенных концентрациях агрессивных сред, был разработан и внедрен материал «Констакор-Праймер», обеспечивающий уровень адгезии, при испытании в соответствии с ГОСТ 21981, свыше 5 кгс/см. Натурные испытания долговечности адгезионного соединения по данному грунту по ГОСТ 21981 показали, что десятилетняя экспозиция образцов в дистиллированной воде при нормальной температуре с открытыми незащищенными краями не привела к снижению адгезионной прочности соединения и появлению очагов коррозионного разрушения металлической подложки. Следует отметить, что данный грунт можно также применять для консервации металлической поверхности после абразивоструйной очистки. Максимальный интервал межслойной сушки при нанесении материала «Констакор-ТЭП» не должен превышать трех суток. Это обусловлено протеканием реакцией химического структурирования на начальном этапе формирования покрытия и возможностью его разрушения после

нанесения на него жидкого состава последующих слоев. Такая технологическая особенность сильно ограничивала применение «Констакора-ТЭП» в случаях невозможности реализовать полноценное послойное нанесение основного покрытия перед монтажом оборудования или его транспортировки. В этом случае «Констакор-Праймер» выполняет роль консервационного грунта и может применяться совместно с основным материалом в дальнейшем.

Для защиты основного покрытия от возможного воздействия технологических факторов, проявляющихся при монтаже и наладке водоподготовительного оборудования, используется защитный лак «Констакор-Протект». Он выполняет защитную функцию, предотвращая тепловое старение от локальных перегревов при монтажных работах, а также обеспечивает длительное хранение покрытия в условиях атмосферного хранения и транспортировки, а при дальнейшей эксплуатации значительно повышает антидиффузионные свойства основного материала покрытия.

Материал «Констакор-ТЭП» как в качестве самостоятельного покрытия, так и в системе с грунтом и лаком, помимо защиты водоподготовительных фильтров цехов химводоочистки теплоэлектростанций, широко используется для внутренней защиты бакового хозяйства и емкостей хранения концентрированной соляной кислоты. Есть положительный опыт его применения в качестве гидроизоляционных материалов для защиты поверхностей бетонных резервуаров, как в качестве самостоятельного покрытия, так и в качестве подслоя под футеровку кислотоупорными штучными материалами на замазках Арзамит-5 и из жидкого стекла. «Констакор-ТЭП» применялся для защиты транспортных емкостей промежуточного хранения соляной кислоты в условиях нефтедобычи.

Практика показала, что реальный срок эксплуатации готового покрытия «Констакор-ТЭП» до текущего ремонта составляет, в зависимости от условий эксплуатации, от 7 до 10 лет. При наличии выявленных при осмотре дефектов возможна и дальнейшая эксплуатация основного покрытия после локального ремонта. Причем ремонт можно

выполнять как силами специализированной подрядной организации, так и собственными производственными подразделениями эксплуатирующей организации, так как это не требует специальной подготовки персонала. Для выполнения ремонтных работ был разработан состав «Констакор-Пром». Данный состав пригоден также для локального ремонта гуммировочных покрытий из листовой резины при их повреждении в результате длительной эксплуатации. Состав обеспечивает высокий уровень адгезии как к металлу, так и к резине. Таким образом, разработанные материалы позволили нивелировать основную проблему, связанную с локальным ремонтом вышедшего из строя покрытия без существенных технологических и эксплуатационных затрат.

Необходимо отметить, что наиболее экономично наносить покрытие в заводских условиях с последующей транспортировкой на объект. Эта опция стала возможной, поскольку составы «Констакор»® можно транспортировать в любое время года при температуре окружающего воздуха от - 40 °С до + 50 °С.

Работа в сфере антикоррозионной защиты требует постоянного развития и улучшения существующих технологий. Так, для защиты оборудования тепловых электростанций, водоканалов и котельных, используемого с целью подготовки воды для открытого водоразбора холодного и горячего водоснабжения, был разработан материал «Констакор-Аква», который удовлетворяет всем требованиям санитарных правил и норм, имеет разрешение на контакт с питьевой водой и, в тоже время, обладает высокими технико-эксплуатационными характеристиками. «Констакор-Аква» предназначен для работы в условиях воздействия слабых растворов (до 5%) кислот и щелочей с максимальной температурой эксплуатации до + 60 °С. «Констакор-Аква» применяется для антикоррозионной защиты механических и анионитовых фильтров, баков, запорно-регулирующей арматуры и трубопроводов.

Универсальная агрессивностойкость в водных растворах кислот и щелочей малой и средней концентрации, достаточная температуростойкость позволяют использовать «Констакор-ТЭП» в различных химических производствах. Однако данные

материалы неэффективны в условиях работы сильных окислителей, таких как растворы азотной кислоты, гипохлорита натрия, озона и других реагентов. В связи с этим был разработан материал «Констакор-SEBS» ТУ 2513-017-34724672-2012 на основе стирольного блок-сополимера, характеризующегося высокой стойкостью к воздействию повышенных температур и химических окислителей. Он предназначен для защиты емкостного оборудования, эксплуатирующегося в условиях воздействия кислот и щелочей повышенной концентрации и вы-

соких температур, разбавленных растворов азотной кислоты, концентрированных растворов гипохлорита натрия и других окислительных сред. В настоящее время «Констакор-SEBS» используется для защиты емкостей хранения и транспортировки концентрированной соляной кислоты, баков с горячей водой повышенной кислотности, оборудования, подвергающегося промывке горячими растворами азотной кислоты. В табл. 3 представлены краткие характеристики покрытий линейки «Констакор»®.

На основании материала «Конста-

Таблица 3. Свойства гуммировочных покрытий серии «Констакор»®
Table 3. Properties of gumming coatings of the Constacor® series

Материал / Material	Среды (pH) / Environment (pH)	Температуры, °С / Temperatures, °С	Применение / Application
Констакор-ТЭП / Constacor-TEP	Растворы кислот и щелочей концентрацией от 10 до 40% (HCl, H ₂ SO ₄ , H ₂ PO ₄ , NaOH) pH = 0...14 / Solutions of acids and alkalis with a concentration of 10 to 40% (HCl, H ₂ SO ₄ , H ₂ PO ₄ , NaOH) pH = 0...14	30...80 °С	Для защиты емкостного оборудования водоподготовительных цехов теплоэлектростанций / For protection of capacitive equipment of water treatment plants of thermal power plants
Констакор-Пром / Konstacor-Prom			Эффективный ремонтный состав / Effective repair compound
Констакор-Аква / Constacore-Aqua	Кислотно-щелочные среды низких и средних концентраций: разбавленные растворы серной и соляной кислот (до 10%), натриевой щелочи, вода / Acid-alkaline media of low and medium concentrations: dilute solutions of up to 10% sulfuric and hydrochloric acids, sodium alkali, water	20...60 °С	Для защиты емкостного оборудования водоподготовительных производств с открытым водоразбором. Имеет гигиенический сертификат / For protection of capacitive equipment of water treatment plants with open water intake. Has a hygienic certificate
Констакор-SEBS / Constacor-SEBS	Растворы кислот и щелочей концентрацией от 10 до 60% (HCl, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , NaOH, гипохлорид натрия) pH = 0...14 / Solutions of acids and alkalis with a concentration of 10 to 60% (HCl, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , NaOH, sodium hypochlorite) pH = 0...14	50...90 °С	Для защиты емкостного оборудования, эксплуатируемого в условиях воздействия высокоагрессивных концентрированных сред кислотного и щелочного характера, а также сред-окислителей / For protection of capacitive equipment operated under conditions of exposure to highly aggressive concentrated acidic and alkaline media, as well as oxidizing media



кор-SEBS» был разработан уникальный состав «Констакор-Аква SEBS» ТУ 22.19.20-041-34724672-2021, имеющий заключение о соответствии единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору. «Констакор-Аква SEBS» может эксплуатироваться при более высоких температурах, до + 95 °С, а также в условиях воздействия окислительных сред, используемых для обеззараживания питьевой воды.

Обозначенные в начале статьи вызовы диктуют необходимость дальнейшего совершенствования материалов линейки «Констакор»®. Оно идет в направлении снижения трудоемкости подготовки защищаемой поверхности за счет снижения требований к чистоте и шероховатости металла, снижения трудозатрат при нанесении покрытия за счет снижения необходимого для достижения нужной толщины количества наносимых слоев. Очень важным направлением мы считаем переход от растворных к безрастворным системам, что, за счет реализации принципа нулевых выбросов, снизит нагрузку на персонал и окружающую среду. В конечном итоге стоит задача производить более долговечные, дешевые и экологичные покрытия.

Таким образом, новое поколение жидких гуммировочных материалов на основе растворов стирольных блок-сополимеров способно в полной мере заменить традиционную систему гуммирования листовыми резинами. За последние 15 лет составами «Констакор»® была выполнена антикоррозионная защита сотен объектов на предприятиях энергетики, химической промышленности и производства минеральных удобрений. Очень важно в нынешней турбулентной внешнеэкономической и политической обстановке, что материалы «Констакор-ТЭП» и «Констакор-Аква» производятся

из отечественного сырья и компонентов. Разработанные в процессе НИР, испытаний и внедрения основные принципы рецептуростроения новых составов позволяют широко варьировать свойствами и технико-эксплуатационными характеристиками материалов серии «Констакор»® для решения различных технических задач.

Литература

1. Кудасов Б.К. Внутренние напряжения в эпоксидных покрытиях // ЛКМ и их применение. – 1976. – № 5. – С. 48-49.
2. Богатков Л.Г., Шпайзман Л.Б., Иорданский А.Л., Заиков Г.Е. Диффузия соляной кислоты в гуммировочные резины // Каучук и резина. – 1980. – № 1. – С. 25-27.
3. Елисаветский А.М., Елисаветская И.В., Ратников В.Н. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями // ЛКМ и их применение. – 2000. – № 2-3. – С. 17-22.
4. РД 24.023.52-90 Изделия химического машиностроения. Гуммирование. Типовой технологический процесс. М.: Минтяжмаш СССР. – 1990.

References

1. Kudasov, B. K. (1976). Internal stresses in epoxy coatings. *Lakokrasochnie materialy i ikh primeneniye*, (5), 48-49.
2. Bogatkov, L. G., Shpaizman, L. B., Jordansky, A. L., & Zaikov, G. E. (1980). Diffusion of hydrochloric acid into gum rubber. *Kauchuk i rezina*, (1), 25-27.
3. Elisavetsky, A. M., Elisavestskaya, I. V., & Ratnikov, V. N. (2000). Protection of metals from corrosion by paint coatings. *Lakokrasochnie materialy i ikh primeneniye*, (2-3), 17-22.
4. Products of chemical engineering. Gumming. Typical technological process. (1990). *RD 24.023.52-90*. Moscow: Mintyazhmash USSR.

Информация об авторах

Семенов Юрий Владимирович, к.т.н. главный технолог ООО «Константа-2», г. Волгоград, Российская Федерация
Зерщиков Константин Юрьевич, к.т.н., генеральный директор ООО «Константа-2», г. Волгоград, Российская Федерация
Слепокуров Николай Алексеевич, коммерческий директор ООО «Константа-2», г. Волгоград, Российская Федерация

Information about authors

Yuri V. Semenov, Ph.D. in Technical Sciences, Chief Technologist of Constant-2, LLC, Volgograd, Russian Federation
Konstantin Yu. Zershchikov, Ph.D. in Technical Sciences, General Director of Constant-2, LLC, Volgograd, Russian Federation
Nikolay A. Slepokurov, Commercial Director of Constant-2 LLC, Volgograd, Russian Federation

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.

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 ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-4

**Синтез алкиламиновых комплексов, полученных на основе
малеиновых кислот и исследование бактерицидных свойств**

Д.Б. Агамалиева[✉], М.М. Аббасов, В.М. Аббасов, Х.Х. Алиева

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

e-mail: durna.agamaliyeva@mail.ru

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследований в области синтеза органических комплексов на основе пропил, бутил, пентил и гексиламина и малеиновой кислоты в мольном соотношении 1:1. Структура и структура полученных веществ подтверждены при помощи ИК и ЯМР ¹H спектроскопии. Определены некоторые физико-химические свойства синтезированного комплекса. С целью исследования антимикробной активности полученных комплексов приготовлены их растворы в различных средах (вода, изопропиловый спирт и этиловый спирт) при трех различных концентрациях (2,5; 5; 25 мг/л) и изучено их влияние на жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий при температуре 30...32 °С в течение 15 суток. Установлено, что при концентрации 2,5 мг/л синтезированные комплексные соли проявляют 96...98%-ный бактерицидный эффект, а при концентрации 5...25 мг/л проявляют 100%-ный бактерицидный эффект, полностью подавляя жизнедеятельность бактерий. Синтезированные комплексы даже при низких концентрациях проявляют более высокий бактерицидный эффект.

Таким образом, получение органических комплексов на основе аминов и малеиновой кислоты, а также ингибиторов специального назначения, компонентов и композиционных материалов на их основе является весьма актуальной проблемой. В этом направлении был проведен ряд исследований.

Ключевые слова: биокоррозия, малеиновая кислота, пропиламин, бутиламин, пентиламин гексиламин, ингибитор, сульфатредуцирующие бактерии.

Для цитирования: Агамалиева Д.Б., Аббасов М.М., Аббасов В.М., Алиева Х.Х. Синтез алкиламиновых комплексов, полученных на основе малеиновых кислот и исследование бактерицидных свойств // Практика противокоррозионной защиты. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 42-48. doi: 10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-4.

Статья получена: 01.11.2021, опубликована 01.03.2022.

**Synthesis of alkylamine complexes
based on maleic acids and investigation of bactericidal properties**

D.B. Agamaliyeva[✉], M.M. Abbasov, V.M. Abbasov, Kh. Kh. Alieva

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

e-mail: durna.agamaliyeva@mail.ru

Abstract. This article presents the results of research in the field of synthesis of organic complexes based on propyl, butyl, pentyl and hexylamine and maleic acid in a molar ratio of 1:1. The structure and structure of the obtained substances were confirmed by IR and ¹H NMR spectroscopy. Some physicochemical properties of the synthesized complex have been determined. In order to study the antimicrobial activity of the complexes obtained, their solutions were prepared in various media (water, isopropyl alcohol and ethyl alcohol) at three different concentrations (2,5; 5; 25 mg/l) and their effect on the vital activity of sulfate-reducing bacteria was studied at a temperature of 30... 32 °C for 15 days. It has been established that at a concentration of 2,5 mg/l, the synthesized complex salts exhibit a 96...98% bactericidal effect, and at a concentration of 5...25 mg/l, they exhibit a 100% bactericidal effect, completely suppressing the vital activity of bacteria. The synthesized complexes exhibit a higher bactericidal effect even at low concentrations.

Thus, the preparation of organic complexes based on amines and maleic acid, as well as special-purpose inhibitors, components and composite materials based on them, is a very urgent problem. A number of studies

have been carried out in this direction.

Keywords: biocorrosion, maleic acid, propylamine, butylamine, pentylamine hexylamine, inhibitor, sulfate-reducing bacteria.

For citation: Agamalieva, D. B., Abbasov, M. M., Abbasov, V. M. & Alieva, H. Kh. (2022). Synthesis of alkylamine complexes derived from maleic acids and study of bactericidal properties. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 27(1), 42-48. doi:10.31615/j.corros.prot.2022.103.1-4.

Received: November 01, 2021. Published: March 01, 2022.

Введение

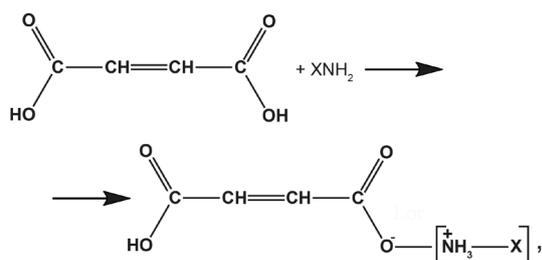
Ускорение коррозии, обусловленное микробиологическим влиянием, по своей природе не вызывается одним типом микроорганизмов и не ограничивается одним механизмом. Этот процесс происходит за счет синергетического действия ряда различных групп бактерий, которые имеют общие свойства. Биокоррозия часто возникает из-за синергетического взаимодействия между поверхностью металла, продуктами коррозии, бактериями и продуктами метаболизма, которые включают органические и неорганические кислоты и такие соединения, как аммиак и сероводород [1]. Сульфатредуцирующие бактерии (СРБ) относятся к группе дельта-протеобактерий и включают такие виды, как *Desulfovibrio* и *Desulfomaculum*. СРБ являются наиболее известными и изученными бактериями, участвующими в биокоррозии медных и никелевых сплавов, чугуна, углеродистых сталей, нержавеющей стали и низколегированной стали [2]. Их часто можно обнаружить на таких объектах, как оборудование транспортировки, хранения и добычи нефти и газа. Эти бактерии являются наиболее вероятной причиной коррозии; они обуславливают такие проблемы, как закисание и биообрастание оборудования [3]. СРБ способны окислять органические вещества и утилизировать сульфид, лактат или тетрагидрат в качестве конечного акцептора электронов. Основным конечным продуктом их метаболизма являются сульфиды, которые накапливаются на поверхности металла, подкисляют окружающую среду и катализируют процесс коррозии. СРБ, однако, не единственная группа бактерий, способных производить сульфиды, т.е. не единственная причина биокоррозии. Механизм, изученный в отношении СРБ-индуцированной биокоррозии, включает перенос электронов из металлической поверхности и восстановление сульфата с использованием промежуточного водорода, что требует

использования фермента гидрогеназы. Таким образом, ферменты гидрогеназы являются наиболее широко изученной группой ферментов, участвующих в анаэробной биокоррозии. Недавние исследования показали, что очищенные ферменты гидрогеназы, выделенные из *Ralfstonia*, напрямую влияют на катодную реакцию на поверхности нержавеющей стали даже при отсутствии жизнеспособных клеток [4]. СРБ могут участвовать даже в аэробных средах, когда они присутствуют в биопленках. Показано, что растворенный кислород способствует уменьшению концентрации до нуля на расстоянии от 180 микрометров от поверхности металла. Таким образом, СРБ могут расти на дне биопленок, несмотря на наличие больших концентраций кислорода в объеме раствора. Признаками атаки СРБ на низкоуглеродистую и нержавеющую сталь являются образование черной пленки FeS на поверхности и точечная коррозия. Также было показано, что природа и структура сульфидных пленок, продуцируемых бактериями при растворении металла, также влияет на биокоррозию сталей СРБ [5, 6].

Одним из наиболее важных и широко используемых методов защиты от коррозии металлов является использование ингибиторов. Из литературы хорошо известно, что количество видов ингибиторов и области их применения быстро расширяются [7-9].

Экспериментальная часть и анализ полученных результатов

Представленная статья посвящена синтезу новых комплексов различного состава на основе пропил, бутил, пентил и гексиламина и малеиновой кислоты и изучению их бактерицидных свойств в отношении СРБ. Синтезированный нами комплекс был получен при комнатной температуре (реакция экзотермическая) при мольном соотношении реагентов 1:1. Реакция протекает по следующей схеме.

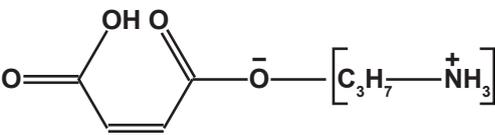
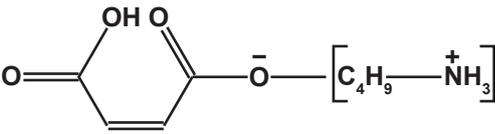
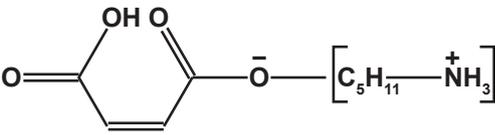
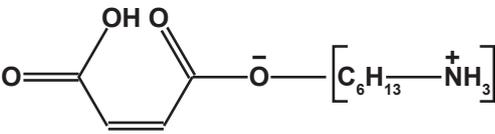


где $X = \text{C}_3\text{H}_7, \text{C}_4\text{H}_9, \text{C}_5\text{H}_{11}, \text{C}_6\text{H}_{13}$.

Определены физико-химические показатели синтезированных комплексных соединений. Показатель преломления (ρ_4^{20}) – на рефрактометре марки “АВВЕМАТ” 350/500, плотность (n_D^{20}) – на приборе “ДМА” 4500 М. Их условные обозначения, состав и некоторые физико-химические свойства показаны в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические показатели синтезированных комплексов пропил, бутил, пентил и гексилmaleинатов

Table 1. Physical and chemical indices of the synthesized compounds of propyl, butyl, pentyl and hexylmaleinates

Условные обозначения и состав комплекса / Symbols and composition of the complex	Соотношение, моль / Ratio, mole	Плотность, ρ_4^{20} , г/см ³ / Density, ρ_4^{20} , g/cm ³	Показатель преломления, n_D^{20} / Refractive index, n_D^{20}	Температура замерзания, °С / Freezing point, °C
Т-1 (пропиламин и maleиновая кислота) 	1:1	0,8556	1,4117	-60 не замерзал / did not freeze
Т-2 (бутиламин и maleиновая кислота) 	1:1	0,8767	1,4166	-60 не замерзал / did not freeze
Т-3 (пентиламин и maleиновая кислота) 	1:1	0,8560	1,4196	-60 не замерзал / did not freeze
Т-4(гексиламин и maleиновая кислота) 	1:1	0,8602	1,4252	-60 не замерзал / did not freeze

Исследование бактерицидных свойств

Влияние синтезированных образцов органических комплексов малеиновой кислоты Т-1, Т-2, Т-3 и Т-4 на жизнедеятельность СРБ изучено с использованием в экспериментах СРБ вида "*Desulfovibrio desulfuricans*" и штамма 1143. СРБ являются облигантными анаэробными бактериями, восстанавливающими сульфаты до сульфида водорода. Для развития СРБ наиболее оптимальной средой служит питательная среда Постгейта В с pH в пределах 7,0...7,5. Эксперименты проводились в предварительно стерилизованных пробирках по методике [10]. Изучено влияние синтезированных образцов органических комплексов малеиновой кислоты Т-1, Т-2, Т-3 и Т-4 на инкубационный период СРБ в течение 14 дней. Безреагентные и реагентные среды были использованы для сравнения. Бактериальную среду объемом 1 мл разбавляли стерильной водой, пересаживали в питательную среду Postgate В в 10 мл пробирки в соотношении 1:9 и хранили в термостате при 30...32 °С в течение 7 дней. В завершение эксперимента количество бактерий, проросших в среде, определяли под микроскопом. В конце эксперимента было установлено, что в неингибированной контрольной среде количество бактерий составляет $n=10^8$. Далее в

пробирки добавляли синтезированные соли при концентрациях 2,5, 5 и 25 мг/л и снова выдерживали их в указанных выше условиях при температуре 30...32 °С в течение 7...14 суток, и в первые 24 ч наблюдали эффективное влияние указанных производных малеиновой кислоты на жизнедеятельность бактерий. Влияние реагентов на жизнедеятельность СРБ в концентрациях 2,5, 25 и 250 мг/л представлено на рис.

Как видно из диаграммы, в неингибированной среде количество бактерий составляет $n=1 \times 10^8$, а в ингибиторной среде для Т-1, Т-2, Т-3 и Т-4 число бактерий при концентрации 2,5 мг/л снижается от 10^8 до 10^1 (со ста миллиона до десяти); при концентрации 5 мг/л для образца Т-1 и Т-4 от 10^8 до 10^1 (со ста миллиона до десяти); для образца Т-2 и Т-3 от 10^8 до 0 (со ста миллиона до нуля); а при концентрации 25 мг/л для всех образцов число бактерий снижается от 10^8 до 0 (со ста миллиона до нуля).

В заключение исследований испытуемые образцы были оттитрованы йодометрическим методом, и по количеству H_2S был рассчитан защитный эффект [11]. При титровании были использованы фиксанольные растворы йода и гипосульфита натрия. Содержание H_2S рассчитывали по следующему уравнению (1):

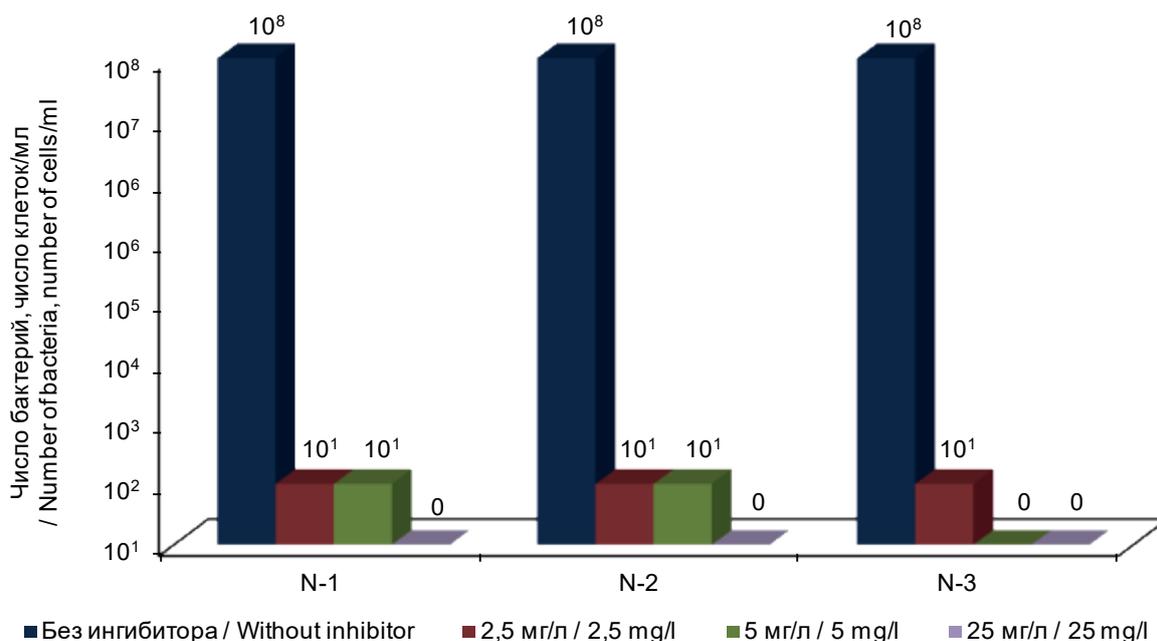


Рис. Влияния образцов Т-1, Т-2, Т-3 и Т-4 на количество СРБ

Fig. Effects of samples T-1, T-2, T-3 and T-4 on the amount of CRP



$$X(H_2S) = \frac{N(J) \cdot V(J) - N(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3)}{V(H_2O)} \cdot 17000, \quad (1)$$

где $N(J) = 0,1 H$,
 $V(J) = 10$ мл,
 $N(Na_2S_2O_3) = 0,1 H$,
 $V(Na_2S_2O_3) = 7$ мл,
 $V(H_2O) = 20$ мл,

17000 — показывает растворимость 0,1 N раствора гипосульфита натрия в 1000 мл.

На основе найденного значения H_2S защитный эффект ингибитора определяется по следующему уравнению (2):

$$Z = \frac{(C_0 - C_{ing})}{C_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_0 — содержание сероводорода в кон-

Таблица. 2. Результаты зависимости бактерицидного эффекта от концентрации синтезированных комплексов алкилмалеинатов Т-1, Т-2, Т-3 и Т-4

Table 2. Results of the dependence of the bactericidal effect on the concentration of the synthesized complexes of alkylmaleinates T-1, T-2, T-3 and T-4

Условное обозначение и состав комплекса / Symbol and composition of the complex	Концентрация вещества, C , мг/л / Concentration of a substance, C , mg/l	Число бактерий (число клеток/мл) / The number of bacteria (number of cells/ml)	Содержание H_2S , мг/л / Content H_2S , mg/l	Бактерицидный эффект, $\Sigma_{бак}$, % / Bactericidal effect, Σ_{bac} , %
Т-1 Пропиламинный комплекс малеината (1:1 мол) / Propylamine Maleate Complex (1:1 mol)	2,5	10^1	7	98,1
	5	—	—	100
	25	—	—	100
Т-2 Бутиламинный комплекс малеината (1:1 мол) / Butylamine complex of maleate (1:1 mol)	2,5	10^1	14,8	96
	5	10^1	10,7	97,1
	25	—	—	100
Т-3 Пентиламинный комплекс малеината (1:1 мол) / maleate pentylamine complex (1:1 mol)	2,5	10^1	10,8	97
	5	10^1	5,2	98,6
	25	—	—	99,5
Т-4 Гексиламинный комплекс малеината (1:1 мол) / Maleate hexylamine complex (1:1 mol)	2,5	10^1	7,5	98
	5	—	—	100
	25	—	—	100
Контроль-I. Содержание H_2S в среде без тест-культуры 24 мг/л / Control-I. The content of H_2S in the medium without the test culture – 24 mg/l				
Контроль-II. Содержание H_2S в среде с тест-культурой 375 мг/л / Control-II. The content of H_2S in the medium with the test culture – 375 mg/l				
Контроль-III. Количество бактерий в питательной среде 10^8 число клеток/мл / Control-III. The number of bacteria in the culture medium – 10^8 number of cells/ml				



трольной среде, мг/л;

C_{ing} — содержание сероводорода, образующегося в среде реагента, мг/л.

По указанной методике для всех исследуемых образцов Т-1, Т-2, Т-3 и Т-4 рассчитан бактерицидный эффект, и полученные результаты приведены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, комплексы Т-1, Т-4 при концентрации 2,5 мг/л проявляют 98%, Т-2, Т-3 в этой концентрации проявляют 96...97% бактерицидный эффект, а при концентрации 5 мг/л Т-1, Т-4 проявили 100%-ный бактерицидный эффект, Т-2, Т-3 в этой концентрации проявили 97,1...98,6%-ный бактерицидный эффект. При концентрации 25 мг/л все комплексы оказывают 100%-ное бактерицидное действие. Таким образом, полученные результаты проведенных исследований показывают, что синтезированные малеиновые комплексы проявляют высокие бактерицидные свойства.

Обсуждение результатов

Исследования показали, что органические комплексы малеиновой кислоты лучше растворяются в воде и в других различных растворителях, поэтому они обладают более сильным бактерицидным действием. В этом случае ингибитор-бактерицид, легко растворяя плазматическую мембрану стенки бактериальной клетки и проникая в клетку, предотвращает рост бактерий.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Выводы

1. Осуществлен синтез органических комплексов с выходом 100% на основе алкиламинов и малеиновой кислоты.

2. Изучено влияние синтезированных комплексов на микробиологическую коррозию в отношении СРБ типа «*Desulfovibrio desulfuricans*» и установлено, что они обладают относительно высоким бактерицидным эффектом. Комплекс полностью ингибировал развитие бактерий со 100%-ным бактерицидным эффектом при концентрации 5...25 мг/л.

Органический бактериальный комплекс, синтезированный на основе ненасыщенной малеиновой кислоты и алкиламина, обладает высоким бактерицидным действием за

счет наличия функциональных групп.

Литература

1. Chongdar S, Gunasekaran G, Kumar P. Corrosion inhibition of mild steel by aerobic biofilm // Acta Electrochimica. – 2005. – V. 50, № 24. – P. 4655-4665.

2. Zuo R., Ornek D., Syrett B.C, Green R.M, Hsu C-H, Mansfeld F.B., Wood T.K. Inhibiting mild steel corrosion from sulfate-reducing bacteria using antimicrobial-producing biofilms in Three-Mile-Island process water // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2004. – V. 64, № 2. – P. 275-283. doi:10.1016/j.copbio.2004.05.001.

3. Beech I.B., Sunner J. Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals // Curr. Opin. Biotechnol. – 2004. – V. 15, № 3. – P. 181-186. doi: 10.1016/j.copbio.2004.05.001

4. Bermont-Bouis D., Janvier M., Grimont P.A.D., Dupont I., Vallaеys T. Both sulfate-reducing bacteria and Enterobacteriaceae take part in marine biocorrosion of carbon steel // Journal of Applied Microbiology. – 2007. – V. 102, № 1. – P. 161-168. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03053 x.

5. Kan J., Chellamuthu P., Obratzsova A., Moore J.E., Neelson K.H. Diverse bacterial groups are associated with corrosive lesions at a Granite Mountain Record Vault (GMRV) // Journal of Applied Microbiology. – 2011. – V. 111, № 2. – P. 329-337.

6. Videla, H.A.; Herrera, L.K. Biocorrosion in oil recovery systems: Prevention and protection – An update // Edición Especial. – 2007. – V. 30. – P. 272-279.

7. Аббасов В.М., Мамедбейли Э.Г., Агамалиева Д.Б. и др. Исследование бактерицидных свойств производных имидазолинов синтетических нефтяных кислот // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2017. – № 8. – С. 15-18.

8. Ибрагимова М.Д., Мамедханова С.А., Абдуллазаде А.Б., Агамалиева Д.Б.. Влияние олигометиленарилсульфонатов на основе легкого газойля каталитического крекинга на процесс биокоррозии // Практика противокоррозионной защиты. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 18-25. doi: 10.31615/j.corros. prot.2020.98.4-2.

9. Бабаева В.Г., Мамедбейли Э.Г., Агамалиева Д.Б. и др. Синтез комплексов амида норборн-5-ен-2-карбоновой кислоты с гексилхлоридом и изучение их влияния на

процесс биокоррозии // Практика противокоррозионной защиты. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 41-50.

10. Postgate J.R., Campbell L.L. Classification of *Desulfovibrio* species the non sporulating sulfate-reducing bacteria // *Bacteriol. Revs.* – 1966. – V. 30, № 4. – P. 732-738.

11. ОСТ 39-234-89. Иодометрический метод определения сероводорода в воде.

References

1. Chongdar, S., Gunasekaran, G., & Kumar, P. (2005). Corrosion inhibition of mild steel by aerobic biofilm. *Acta Electrochimica*, 50(24), 4655-4665.

2. Zuo, R., Ornek, D., Syrett, B.C., Green, R.M., Hsu, C.-H., Mansfeld, F.B., & Wood, T.K. (2004). Inhibiting mild steel corrosion from sulfate-reducing bacteria using antimicrobial-producing biofilms in Three-Mile-Island process water. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 64(2), 275-283. doi: 10.1007/s00253-003-1403-7.

3. Beech, I. B., Sunner, J. (2004). Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. *Curr. Opin. Biotechnol.* 15(3), 181-186. doi: 10.1016/j.copbio.2004.05.001.

4. Bermont-Bouis, D., Janvier, M., Grimont, P.A.D., Dupont, I., & Vallaeys, T. (2007). Both sulfate-reducing bacteria and Enterobacteriaceae take part in marine biocorrosion of carbon steel. *Journal of Applied Microbiology*, 102(1), 161-168. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03053.x.

5. Kan, J., Chellamuthu, P., Obratsova, A.,

Moore, J. E., & Neelson, K.H. (2011). Diverse bacterial groups are associated with corrosive lesions at a Granite Mountain Record Vault (GMRV). *Journal of Applied Microbiology*, 111(2), 329-337.

6. Videla, H. A., Herrera, L. K. (2007). Biocorrosion in oil recovery systems: Prevention and protection – An update. *Edición Especial*, 30, 272-279.

7. Abbasov, V. M., Memmedbeyli, E. G., Agamaliyeva, D. B. et al. (2017). Investigation of the bactericidal properties of imidazoline derivatives of synthetic petroleum acids. *Oil refining and petro chemistry*, (8), 15-18.

8. Ibragimova, M. J., Mammadkhanova, S. A., Abdullazade, A. B., Agamaliyeva, D. B., Seidova, S. A., & Mammadova, N. M. (2020). Influence of oligomethylenary sulphonates based on the light gas oil of catalytic cracking on the process of biocorrosion. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 25(4), 18-25. doi:10.31615/j.corros.prot.2020.98.4-2.

9. Babayeva, V. G., Memmedbeyli, E. G., Agamaliyeva, D. B., et al. (2019). Synthesis of complexes of norborn-5-ene-2-carboxylic acid amide with hexylchloride and study of its effect to biocorrosion process. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 24(4), 41-50.

10. Postgate, J. R., Campbell, L. L. (1966). Classification of *Desulfovibrio* species the non sporulating sulfate-reducing bacteria. *Bacteriol. Revs.* 30(4), 732-738.

11. Iodometric method for the determination of hydrogen sulfide in water. (1989). OST 39-234-89.

Информация об авторах

Агамалиева Дурна Бабек кызы, к.х.н., заведующая лабораторией «Ингибиторы коррозии и консервационные материалы» Института нефтехимических процессов имени академика Ю. Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан
Аббасов Вагиф Магеррам оглы, академик, директор Института нефтехимических процессов имени академика Ю. Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Аббасов Муталлим Магеррам оглы, доктор химических наук, доцент, гл.н.с, Института нефтехимических процессов имени академика Ю. Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Алиева Ханум Хагани кызы, магистр Института нефтехимических процессов имени академика Ю. Г. Мамедалиева НАНА, г. Баку, Азербайджан

Information about authors

Durna Agamaliyeva Babek, Ph.D. in Chemistry, Head of the Laboratory «Corrosion Inhibitors and Preservative Materials» of the Institute of Petrochemical Processes named after academician Yu. G. Mammadaliyev of ANAS, Baku, Azerbaijan
Vagif Abbasov Maharram, academician, Director of the Institute of Petrochemical Processes named after academician Yu. G. Mammadaliyev of ANAS, Baku, Azerbaijan

Mutallim Abbasov Maharram, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Institute of Petrochemical Processes named after academician Yu. G. Mammadaliyev of ANAS, Baku, Azerbaijan

Khanum Aliyeva Khagani, Master of the Institute of Petrochemical Processes named after Academician Yu. G. Mammadaliyev of ANAS, Baku, Azerbaijan

КОРРОЗИМЕТР-ПОТЕНЦИОСТАТ «IPC-CorrMeter» новое программное обеспечение и оборудование

Программное обеспечение «IPC-CorrMeter» (ПО) на базе потенциостатов серии IPC предназначено для коррозионного контроля металлов, сплавов, определения коррозионности водных и водно-органических сред и оценки эффективности ингибиторов коррозии, металлических, конверсионных, металлонаполненных, CVD, PVD, тонких ЛКП, средств временной противокоррозионной защиты. ПО может применяться в научных и учебных организациях, на предприятиях энергетики, нефтяной, газовой, химической, металлургической, горнодобывающей, пищевой, лакокрасочной промышленности, машино- и приборостроения, гальванотехники, коммунального хозяйства.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- функция автоматического коррозиметра и потенциостата IPC «2 в 1», экономичность;
- определение скоростей общей (K_n), питтинговой коррозии (P), потенциала коррозии (E_{corr}) и контактных токов (I);
- методики поляризационного сопротивления, амперометрии нулевого сопротивления, потенциометрии, хроноамперометрии, вольтамперометрии в одном приборе;
- компенсация омического сопротивления среды;
- непревзойденный диапазон скоростей коррозии – от 1 нм/год до 1 м/год !
- оперативная память коррозиметра «IPC-CorrMeter» – практически не ограничена, определяется только объемом жесткого диска !
- малые габариты прибора – на базе «IPC-Micro»;
- комбинированное питание (от аккумулятора 60 А·ч, 12 В или от сети переменного тока с адаптером) обеспечивает возможность автономной работы до 28 сут;
- возможности проведения коррозионных измерений на крупногабаритных изделиях, например, емкостях, трубах, буровых насосах при гидроиспытаниях, сваях;
- регистрация и обработка получаемых данных на персональных компьютерах;
- разработка датчиков для конкретных условий применения (систем ГВС, водно-органических охлаждающих жидкостей, водооборотных систем, повышенных температур и давлений (до 20 атм);
- консультации и техподдержка от разработчиков ПО, приборов, методик измерений, датчиков коррозии.



КОРРОЗИМЕТР-ПОТЕНЦИОСТАТ
«IPC-CorrMeter» с переходником и датчиком ДТФ-3Л при измерениях коррозионных показателей



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (на базе «IPC-Micro»)

- скорость общей и питтинговой коррозии (K_n и P).....0,0001...62500 мкм/год;
- электродные потенциалы (E_{cor})..... ± 2500 мВ (0,01 мВ);
- сила постоянного тока (I)..... ± 10000 мкА (0,001мкА);
- время установки рабочего режима.....не более 5 мин;
- рабочие температуры:
 - IPC.....0...40 °С;
 - датчиков ДТФ-2 (3).....минус 50...+100 °С;
- режим работы.....двух-трехэлектродный;
- продолжительность непрерывной работы от аккумулятора 60 А·ч.....до 28 сут;
- габаритные размеры комплекта, мм, не более.....200×100×30.

КОНТАКТЫ:

- По методикам использования программы IPC-Corr-Meter и проведению коррозионного мониторинга, способам коррозионных измерений, изготовлению и конструкции коррозионных датчиков ДТФ-2, ДТФ-3 и др.: **Н.Г. Ануфриев**, +7(926)758-96-30, *e-mail*: anufrievng@mail.ru
 - По применению программного обеспечения IPC-Corr-Meter, работе и обслуживанию потенциостатов серии IPC: **В.Э Касаткин**, *e-mail*: vadim_kasatkin@mail.ru
 - *Потенциостаты, датчики, переходники изготавливаются по специальному заказу для конкретных условий применения прибора. Срок поставки прибора и датчиков – не более 1 мес. со дня заказа.*
- Поставки:** **Д.Н. Ануфриев**, +7(925)411-60-64, *e-mail*: 4116064@mail.ru

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 комплексоноватных, 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 КАРТЭК в I квартале 2022 г.

Предприятие-изготовитель	Наименование продукции
Сертификаты	
ООО «НПП «ТИЗНАФТА», Республика Татарстан, г. Казань	Состав герметизирующий - TOS
ООО «Омский трубный проект», г. Омск	Трубы, соединительные детали и монтажные узлы с тепловой изоляцией из пенополиуретана в защитной оболочке
ООО «2С», г. Москва	Полимерминеральный состав 2С-Полимин
ООО «ВАДИС-Центр», МО, г. Балашиха	Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой на основе системы ИЗОЛАН А-354/VORANATE M229
ООО «Архим», Брянская обл., г. Новозыбков	Реагент «GERTEKS-FL»
ООО «Спектр», г. Самара	Полиакриламид модифицированный «ГЕОПОЛ» (марок ГЕОПОЛ-СВ, ГЕОПОЛ-ВВ)
ООО «МТЭР ЦТС», г. Москва	Компенсаторы сильфонные металлические для тепловых сетей и горячего водоснабжения, водопроводов и паропроводов от DN 50 мм до DN 1200 мм
ООО «Спектр», г. Самара	Силикат натрия (калия) модифицированный «ГЕОСИЛ»