

ISSN 2224-5286

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ХИМИЯ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ  
ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ**



**SERIES  
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

**2 (416)**

**НАУРЫЗ – СӘУІР 2016 ж.  
МАРТ – АПРЕЛЬ 2016 г.  
MARCH – APRIL 2016**

1947 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1947 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әдекенов С.М.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғазалиев А.М.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Ерғожин Е.Е.** (бас редактордың орынбасары); хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Пірәлиев К.Д.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баешов А.Б.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Бүркітбаев М.М.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жүсіпбеков У.Ж.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Итжанова Х.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Молдахметов М.З.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рахымов К.Д.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сатаев М.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Тәшімов Л.Т.**; хим. ғ. докторы, проф. **Мансұров З.А.**; техн. ғ. докторы, проф. **Наурызбаев М.К.**

Р е д а к ц и я к е ң е с і:

Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **Агабеков В.Е.** (Беларусь); Украинаның ҰҒА академигі **Волков С.В.** (Украина); Қырғыз Республикасының ҰҒА академигі **Жоробекова Ш.Ж.** (Қырғызстан); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Манташян А.А.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Туртэ К.** (Молдова); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Фарзалиев В.** (Әзірбайжан); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Халиков Д.Х.** (Тәжікстан); хим. ғ. докторы, проф. **Нараев В.Н.** (Ресей Федерациясы); философия ғ. докторы, профессор **Полина Прокопович** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Марек Сикорски** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**М. Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Адекенов**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **Е.Е. Ергожин** (заместитель главного редактора); доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **К.Д. Пралиев**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Б. Башов**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.М. Буркитбаев**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.Ж. Джусипбеков**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.И. Итжанова**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.З. Мулдахметов**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор мед. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **К.Д. Рахимов**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.И. Сатаев**; доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Л.Т. Ташимов**; доктор хим. наук, проф. **З.А. Мансуров**; доктор техн. наук, проф. **М.К. Наурызбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Республики Беларусь **В.Е. Агабеков** (Беларусь); академик НАН Украины **С.В. Волков** (Украина); академик НАН Кыргызской Республики **Ш.Ж. Жоробекова** (Кыргызстан); академик НАН Республики Армения **А.А. Манташян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **К. Туртэ** (Молдова); академик НАН Азербайджанской Республики **В. Фарзалиев** (Азербайджан); академик НАН Республики Таджикистан **Д.Х. Халиков** (Таджикистан); доктор хим. наук, проф. **В.Н. Нараев** (Россия); доктор философии, профессор **Полина Прокопович** (Великобритания); доктор хим. наук, профессор **Марек Сикорски** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия химии и технологии». ISSN 2224-5286

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10893-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/chemistry-technology.kz>

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142,  
Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского,  
каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

**M. Zh. Zhurinov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**S.M. Adekenov**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Ye.Ye. Yergozhin**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK (deputy editor); **K.D. Praliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **A.B. Bayeshov**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.M. Burkhitbayev**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.Zh. Zhusipbekov**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Kh.I. Itzhanova**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Z. Muldakhmetov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **K.D. Rakhimov**, dr. med. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.I. Satayev**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **L.T. Tashimov**, dr. chem. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.A. Mansurov**, dr. chem. sc., prof.; **M.K. Nauryzbayev**, dr. eng. sc., prof.

Editorial staff:

**V.Ye. Agabekov**, NAS Belarus academician (Belarus); **S.V. Volkov**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **Sh.Zh. Zhorobekov**, NAS Kyrgyzstan academician (Kyrgyzstan); **A.A. Mantashyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **K. Turte**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Farzaliyev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **D.Kh. Khalikov**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **V.N. Narayev**, dr. chem. sc., prof. (Russia); **Pauline Prokopovich**, dr. phylos., prof. (UK); **Marek Sikorski**, dr. chem. sc., prof. (Poland)

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.**  
**ISSN 2224-5286**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 10893-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/chemistry-technology.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

Editorial address: Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry named after D. V. Sokolsky  
142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22,  
e-mail: [orgcat@nursat.kz](mailto:orgcat@nursat.kz)

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 416 (2016), 91 – 97

**PECULIARITIES OF ELECTROCHEMICAL CORROSION  
OF METAL COVERED WITH SUPERHYDROPHOBIC FILMS  
IN THE ELECTROLYTE SOLUTIONS****V. I. Vigdorovich<sup>1</sup>, L. E. Tsygankova<sup>2</sup>, A. K. Baeshova<sup>3</sup>, A. B. Baeshov<sup>4</sup>**<sup>1</sup>All-Russian Scientific Institute of Machinery and Oil-products Application in Agriculture, Tambov, Russia,<sup>2</sup>Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia,<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,<sup>4</sup>D. V. Sokolsky Institute of organic catalysis and electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: vits21@mail.ru; azhar\_b@bk.ru; bayeshov@mail.ru

**Key words:** carbon steel, super hydrophobization, electrochemical corrosion, rate, reaction, anode, cathode, protection effect.

**Abstract.** Some of the issues of using the method of super hydrophobization of metal surfaces to protect them from corrosion are summarized. It is shown that the super hydrophobization substantially improves the corrosion resistance of metals due to the retardation of both partial electrode reactions; the solution deaeration leads to reverse effect.

In order to clarify the kinetics of the partial electrode reactions at super hydrofobized steel St3, kinetics of anodic and cathodic processes has been studied in 0.5 M NaCl solution. The dependence in the time of  $E_{cor}$  value, anodic Tafel slope and general corrosion rate ( $K$ ) has been obtained up to a steady state, which is reached after about 72 hours. Simultaneously  $K$  reduced by  $23 \pm 3$  times as compared with steel without the film, which in both cases corrodes by an electrochemical mechanism. However, this process probably occurs only on sites with a wetted surface.

УДК 620.193

**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ,  
ПОКРЫТЫХ СУПЕРГИДРОФОБНЫМИ ПЛЁНКАМИ,  
В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ****В. И. Вигдорович<sup>1</sup>, Л. Е. Цыганкова<sup>2</sup>, А. К. Баешова<sup>3</sup>, А.Б. Баешов<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия,<sup>2</sup>Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина, Тамбов, Россия,<sup>3</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,<sup>4</sup>Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** углеродистая сталь, супергидрофобизация, электрохимическая коррозия, скорость, реакция, анод, катод, защитное действие.

**Аннотация.** Обобщены некоторые вопросы использования метода супергидрофобизации поверхности металлов для защиты их от коррозии. Показано, что супергидрофобизация существенно повышает коррозионную стойкость металлов аэрированных растворах за счёт торможения обеих парциальных электродных реакций, в деаэрированных средах - ведёт к обратному эффекту.

С целью уточнения особенностей парциальных электродных реакций на супергидрофобизированной стали Ст3 изучена кинетика анодного и катодного процессов в 0,5 М растворе NaCl. Получена зависимость во времени величин её  $E_{кор}$ , анодного тафелевского наклона и общей скорости коррозии (К) вплоть до установления стационарного состояния, которое достигается, примерно, через 72 ч. Одновременно К снижается в  $23 \pm 3$  раз по сравнению с незащищённой сталью, которая в обоих случаях корродирует по электрохимическому механизму. Однако этот процесс, видимо, протекает, исключительно на участках со смоченной поверхностью.

**Введение.** В последнее десятилетие начались систематические исследования защиты металлов от коррозии гидрофобными и супергидрофобными плёнками различного состава. Речь идёт о покрытиях, повышающих угол смачивания до  $115-120^\circ$  и снижающих угол скатывания до  $\sim 10^\circ$ . Отметим, что под углом скатывания понимается минимальный угол, при котором капля воды скатывается с поверхности. В массе публикаций [1-24], представляющих в данном случае лишь малую толику их реального числа, очень большое внимание уделяется нанесению защитных плёнок супергидрофобизаторов, позволяющих увеличить контактный угол до  $165-171^\circ$  [20] (в англоязычной литературе так обозначается краевой угол смачивания – contact angle). Одновременно при этом наблюдается существенное снижение скорости коррозии (СК) до 8 раз [23], а иногда и до  $10^4$  раз [16]. В настоящей статье приводится лишь небольшой перечень публикаций, так как не ставится цель их детального обсуждения и обобщения.

Гидрофобизация металлических поверхностей осуществляется весьма различными химическими и электрохимическими методами. С ними можно ознакомиться в [3, 5, 14-16, 19, 22, 24]. В настоящей работе в качестве супергидрофобизатора использован метокси- $\{3-[(2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7, 8, 8, 8\text{-пентадекафторооктил})\text{-окси}]\text{-пропил}\}$ -силана (МППС).

Супергидрофобизации поверхности способствует рост её шероховатости, которая по высоте пиков часто существенно зависит от времени формирования плёнки [24].

Как следует из представлений, развиваемых большинством исследователей [21, 22], гидрофобные и супергидрофобные плёнки не являются сплошными. Суммарная доля смоченной поверхности (рисунок 1, площадка 3) может достигать 10%, её величина является функцией качества покрытий [24].

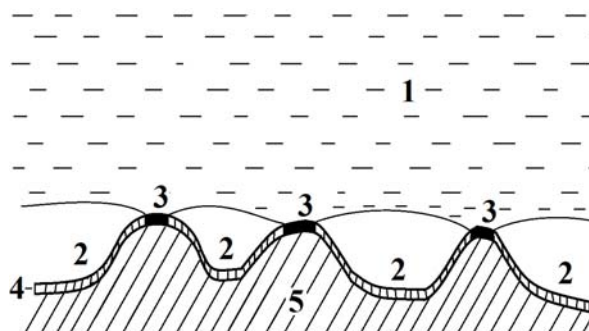


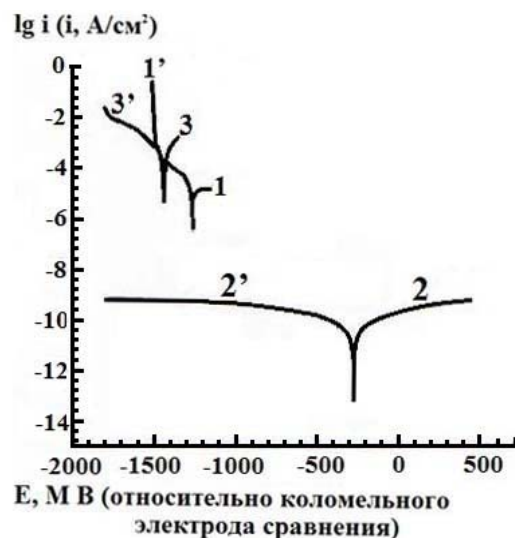
Рисунок 1 – Схематическое представление системы, расположенной на металлической подложке:  
1 – рабочий раствор; 2 – воздушная прослойка; 3 – гидрофильные участки поверхности металла;  
4 – текстурированный слой с наносупергидрофобизирующим агентом; 5 – металлическая подложка

Супергидрофобные слои чаще всего характеризуются низкой диэлектрической проницаемостью и трудно представить под ними образование ионного двойного электрического слоя в растворах электролитов. Однако ДЭС может формироваться на гидрофильных участках (рисунок 1), что приводит на них к электрохимической коррозии металлов.

Из рисунках 1 следует, что удаление прослойки воздуха должно резко повысить скорость коррозии металла за счёт ускорения парциальных электродных процессов. Действительно, подобная картина наблюдалась при гидрофобизации поверхности цинка (рисунок 2) [5].

Деаэрация не только резко увеличивает скорость коррозии цинка с плёнкой гидрофобизирующего агента (волокнистый углерод), но и существенно облегчает катодную реакцию (кривая 2, рисунок 2).

Рисунок 2 – Поляризационные кривые в 3,5% NaCl.  
1 и 1' – чистый цинк;  
2 и 2' – цинк с супергидрофобизированным слоем;  
3 и 3' – цинк с супергидрофобизированным слоем  
после деаэрации [5]



### Методика эксперимента

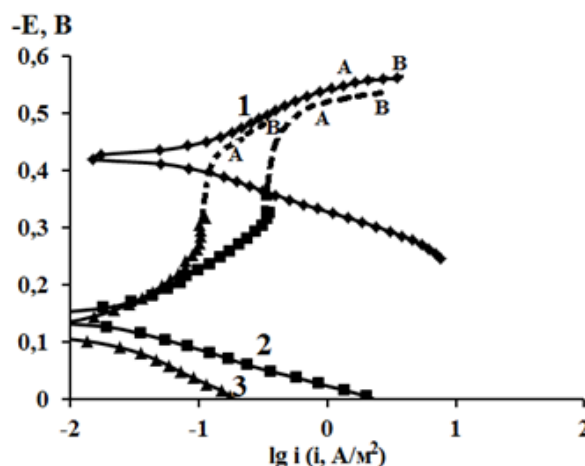
Поверхность образцов стали, армированных в оправку из отвержденной эпоксидной смолы ЭД-6, в двух экспериментальных сериях предварительно текстурировали лазерной обработкой, затем на неё хемосорбировали супергидрофобизирующий агент (МППС), образующий слой толщиной 2-3 нм, с краевым углом смачивания  $168 \pm 18^\circ$ .

Для снятия потенциодинамических (развертка со скоростью 0,66 мВ/с) поляризационных кривых использован потенциостат ИРС-Pro MF (производство ИФХЭ им. А. Н. Фрумкина РАН). Потенциалы измерены относительно насыщенного хлоридсеребряного электрода и пересчитаны на н.в.ш. Противозлектрод – гладкая платина, рабочий электрод с площадью поверхности  $0,8 \text{ см}^2$ .

### Экспериментальные результаты

Результаты экспериментов, полученные через 0,25 ч после погружения электродов двух экспериментальных серий в рабочий раствор, приведены на рисунке 3.

Рисунок 3 – Поляризационные кривые стали, полученные через 0,25 ч после погружения в 0,5 М раствор NaCl. Гидрофобизация: 1 – отсутствует; 2 – 1-я серия образцов; 3 – 2-я серия. Здесь и далее поляризационные кривые сняты в аэрируемых растворах на стационарном электроде



Потенциал коррозии  $E_{кор}$  углеродистой стали без покрытия равен  $-0,420 \text{ В}$ , сталь корродирует в активном состоянии. Величина  $E_{кор}$  супергидрофобизированной стали (1-я серия) близка к  $-0,140 \text{ В}$ . На катодной ветви поляризационной кривой (рисунок 3 кривая 2) отчетливо наблюдается участок предельного тока. Скорость коррозии стали –  $0,009 \text{ г}/(\text{м}^2 \text{ ч})$  коэффициент  $\gamma$  (характеризующий защитное действие покрытия), рассчитанный из зависимости:

$$\gamma = K_0/K_r,$$

где  $K_0$  и  $K_r$  – соответственно скорости коррозии негидрофобизированной и гидрофобизированной стали, близок к 60. Сопоставление кривых 1 и 2, рисунок 3 показывает, что на гидрофобизированной стали сильно заторможена (по сравнению с её незащищенным образцом) скорость анодной реакции, в то время как скорость катодного процесса существенно повышена. Коррозия стали лимитируется ионизацией металла, поэтому она также многократно понижена. Величина  $E_{кор}$  образцов 2-й серии равна  $-0,120$  В,  $V_a \sim 0,070$  В.

После 24-часовой выдержки гидрофобизированных электродов в коррозионной среде (0,5 М NaCl in situ) картина существенно изменяется (рисунок 4).

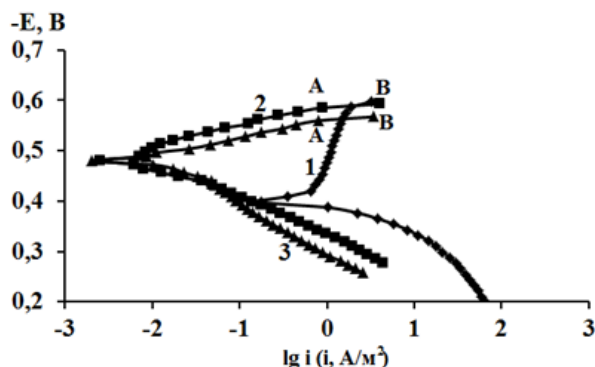


Рисунок 4 – Поляризационные кривые стали в 0,5 М растворе NaCl после 24-х часового воздействия коррозионной среды.

Гидрофобизация:

1 – отсутствует; 2 – 1-я серия; 3 – 2-я серия

Потенциал коррозии такой стали (независимо от номера серии) резко снижается, составляя  $\sim -0,480$  В ( $\Delta E_{кор}$  составляет по сравнению с исходной негидрофобизированной сталью порядка  $0,06$  В). При этом потенциал коррозии негидрофобизированной стали практически не изменяется ( $E_{кор} \sim -0,400$  В, рисунок 4, кривая 1). На катодной ветви поляризационной кривой (ПК) появляется участок АВ, видимо, соответствующий реакции разряда воды.

На катодных ветвях ПК негидрофобизированной стали участок предельного тока присутствует, но проявляется область АВ, как и в случае кривой 1 рисунка 3. Видимо, в этой области, начиная с потенциала  $E_A$ , параллельно протекают суммарные катодные реакции разряда растворённого кислорода и воды, т.е. помимо кислородной появляется и «водная» деполаризация.

Величина катодного тафелевского наклона гидрофобизированной стали неожиданно снижается до  $0,040$  В (рисунок 4, кривые 2 и 3).

На гидрофобизированном стальном электроде второй серии картина остаётся прежней (рисунок 4, кривые 2 и 3). Не изменяются и величины  $V_a$  и  $E_{кор}$  ( $-0,480$  В). Плотность тока коррозии в пределах ошибки эксперимента на гидрофобизированных электродах обеих серий одинакова и составляет  $\sim 0,01$  А/м<sup>2</sup> (в расчёте на видимую поверхность), в то время как на негидрофобизированной стали она близка к  $1,20$  г/(м<sup>2</sup>ч), соответственно величина  $\gamma$  равна 120. Отметим, что столь высокая величина  $\gamma$  достигается за счёт торможения как катодной, так и анодной реакций, но подавление катодного процесса значительно выше.

Через 72 ч пребывания электродов в 0,5 М растворе NaCl переход от негидрофобизированной стали к супергидрофобизированной (1-я серия) характеризуется снижением величины  $\gamma$  до 23, которая к этому времени для обеих серий электродов становится практически одинаковой (рисунок 5, кривые 2 и 3). При  $E_{кор}$  супергидрофобизированная сталь окисляется в активном состоянии (рисунок 5, 1-я серия, кривая 2), скорость её анодной реакции ( $i_a$ ) по-прежнему повышена по сравнению с  $i_a$  негидрофобизированного металла. Величина  $V_a$  существенно понижена и близка к  $0,040$  В (рисунок 5, кривые 1 и 2). Но при  $E$  стали порядка  $-0,57$  В ( $\Delta E = 0,03$  В от  $E_{кор}$ , иначе говоря,  $E_a - E_{кор} = 0,03$  В) достигается потенциал пассивации металла (образец 2-й серии). При этом наблюдается небольшой максимум пассивации и далее сталь корродирует (при  $E_a > E_{пас}$ ) в пассивном состоянии (до потенциала точки С ( $E_c$ )). При достижении в процессе анодной поляризации потенциала  $E_c$  наблюдается перепассивация, либо пробой пассивного состояния. Этот вопрос специально не изучался, так как для коррозионной стойкости стали вблизи  $E_{кор}$  он не представляет интереса. Характер же катодной кривой остаётся прежним (кривые 3, рисунки 4 и 5).



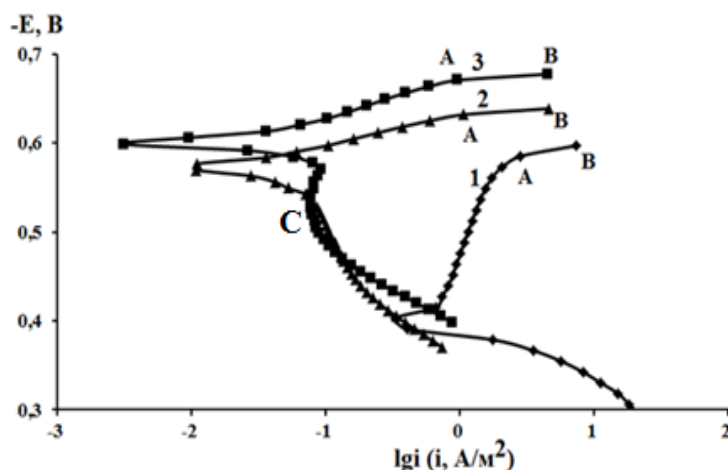


Рисунок 5 – Поляризационные кривые стали после 72 ч воздействия коррозионной среды в 0,5 М растворе NaCl.  
Гидрофобизация: 1 – отсутствует; 2 – 1-я серия; 3 – 2-я серия

Сталь первой серии ведёт себя подобным же образом (кривые 2 и 3, рисунок 5), но её потенциал коррозии выше на 0,030–0,040 В. На анодных поляризационных кривых гидрофобизированной стали (в обеих сериях), полученных через 96 и 144 ч после погружения в раствор, картина остаётся подобной, но переход к пассивному состоянию выражен менее чётко (рисунки не приводятся). Величина  $\gamma$  стационарного значения равна  $23 \pm 3$ .

#### Выводы.

1. Супергидрофобизация поверхности стали приводит в растворах электролитов к резкому торможению катодной и анодной реакций.
2. Коррозия защищённой стали протекает по электрохимическому механизму на участках со смоченной поверхностью, где её механизм не претерпевает изменений.
3. Относительное торможение парциальных электродных реакций на активных участках поверхности изменяется во времени до установления стационарного состояния с  $\tau_c$ , равным в хлоридных средах порядка 72 ч. Также во времени до  $\tau_c$  изменяется и защитное действие покрытия.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б., Анализ смачивания как эффективный метод изменения характеристик покрытий, поверхностей и происходящих на них процессов. Заводская лаборатория // Диагностика металлов. – 2010. – Т. 76. – С. 27-36.
- [2] Yu D., Tian J., Dai J., Wang X. Corrosion resistance of three – layer superhydrophobic composite coating on carbon steel in sea water // *Electrochim. Acta.* – 2013. – Vol. 55. – P. 409-419.
- [3] Ishizaki T., Hiedi J., Saito N., Saito N., Takai O. Corrosion resistance and chemical stability of superhydrophobic film deposited on magnesium alloy AZ31 by microwave plasma – enhanced chemical vapor deposition // *Electrochim. Acta.* – 2010. – Vol. 55. – P. 7094-7101.
- [4] Boinovich L.B., Gnedenkov S.V., Alpysaeva D.A., Eqorin V.S., Emel'yanenko A.M., Sinebryuhov S.L., Zaretckaya A.R. Corrosion resistance of composite coating on low-carbon steel containing hydrophobic and superhydrophobic layers in combination with oxide sublayers // *Corr. Sci.* – 2012. – Vol. 55. – P. 238-245.
- [5] Qiu R., Zhang D., Wang P. Superhydrophobic-carbon fibre growth on a zinc surface for corrosion inhibition // *Corr. Sci.* – 2013. – Vol. 66. – P. 350-359.
- [6] Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М., Музафаров А.М., Мышковский А.М., Пашинин А.С., Цивадзе А.Ю., Ярова Д.И. Получение и применение супергидрофобных плёнок для предотвращения токов утечки // *Успехи в химии и химической технологии.* – 2008. – № 22. – С. 17-23.
- [7] Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия принципы создания, свойства, применения // *Успехи химии.* – 2008. – Т. 17. – С. 619-638.
- [8] Xu Q.F., Wang J.N.A. Superhydrophobic coating on aluminium foil with an anti – corrosive property // *New J. Chem.* – 2009. – Vol. 33. – P. 734-738.

- [9] He T., Wang Y.C., Zhang Y.J., Lv Q., Xu T.G., Liu T. Super- hydrophobic surface treatment as corrosion protection for aluminum in seawater // *Corr. Sci.* – 2009. – Vol. 51. – P. 1757- 1761.
- [10] Barkhudarov P.M., Shah P.B., Watkins E.B., Doshi D.A., Brinker C.J., Majewski J. Corrosion inhibition using superhydrophobic films // *Corr. Sci.* – 2008. – Vol. 50. – P. 897-902.
- [11] Liu T., Dong L.H., Liu T., Zin Y.S. Investigations on reducing microbiologically influenced corrosion of aluminum by using super- hydrophobic surfaces // *Electrochim. Acta.* – 2010. – Vol. 55. – P. 5281-5285.
- [12] Li X., Shen J. A facile two- step dipping process based on two silica systems for a superhydrophobic surfacer // *Chemical Communications.* – 2011. – Vol. 47. – P. 10761-10763.
- [13] Wang J.P., Zhang D., Qiu R., Hou B.R. Super- hydrophobic film prepared on zinc as corrosion barrier // *Corros. Sci.* – 2011. – Vol. 53. – P. 2080-2086.
- [14] He Z., Ma M., Xu X., Wang J., Chen F., Deng H., Wang K., Zhang Q., Fu Q. Fabrication of superhydrophobic coating via a facile and versatile method based on nanoparticle aggregates // *Applied Surface Science.* – 2012. – Vol. 258. – P. 2544-2550.
- [15] Ejenstam L., Ovaskainen L., Rodriguez- Meizoso I., Wagberg L., Pan J., Serin A., Claesson P.M. The effect of superhydrophobic wetting state on corrosion protection – The AKD example // *J. Colloid and Interface Science.* – 2013. – Vol. 412. – P. 56-64.
- [16] Гнеденков С.В., Егоркин В.С., Синебрюхов С.Л., Вялый И.Е., Пашин А.С., Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б. Супергидрофобные композиционные покрытия на поверхности магниевого сплава // *Вестник ДВО РАН.* – 2013. – № 5. – С. 3-11.
- [17] Алпысбаева Д.А., Вершок Д.Б., Емельяненко А.М., Батищев О.В., Кузнецов Ю.И., Бойнович Л.Б. Супергидрофобизация низкоуглеродистой стали поверхностными покрытиями // *Коррозия: материалы и защита.* – 2013. – № 8. – С. 42-47.
- [18] Гнеденков С.В., Егоркин В.С., Синебрюхов С.Л., Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б. Супергидрофобные защитные покрытия на сплаве алюминия // *Вестник ДВО РАН.* – 2014. – № 2. – С. 52-61.
- [19] Khorsand S., Raeissi K., Ashrafizadeh F. Corrosion resistance and long-term durability of super- hydrophobic nickel film prepared by electrodeposition process. // *Applied Surface Science.* – 2014. – Vol. 305. – P. 498-505.
- [20] Cheng Y., Lu S., Xu W., Wen H. Fabrication of Au-AlAu<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> superhydrophobic surface and its corrosion resistance // *RSC Advances.* – 2015. – Vol. 5. – P. 15387-15394.
- [21] Ou J., Liu M., Li W., Xue M., Li C. Corrosion behavior of superhydrophobic surfaces of Ti alloys in NaCl solutions // *Applied Surface Science.* – 2012. – Vol. 258. – P. 4724-4728.
- [22] Lu Z., Wang P., Zhang D. Super- hydrophobic film fabricated on aluminium surface as barrier to atmospheric corrosion in a marine environment // *Corrosion Science.* – 2015. – Vol. 258. – P. 287-296.
- [23] Lu D., Ou J., Xue M., Wang F. Stability and corrosion resistance of superhydrophobic surface on oxidized aluminum in NaCl aqueous solution // *Applied Surface Science.* – 2015. – Vol. 333. – P. 163-169.
- [24] Huang Y., Sarkar D.K., Gollant D., Chen X.G. Corrosion resistance properties of superhydrophobic copper surface fabricated by one – step electrochemical modification process // *Applied Surface Science.* – 2013. – Vol. 282. – P. 689-694.

#### REFERENCES

- [1] Emel'ianenko A.M., Boinovich L.B. Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika metallov. **2010**, 76, 27-36 (in Russ).
- [2] Yu D., Tian J., Dai J., Wang X. *Electrochim. Acta*, **2013**, 55, 409– 419.
- [3] Ishizaki T., Hiedi J., Saito N., Saito N., Takai O. *Electrochim. Acta*, **2010**, 55, 7094-7101.
- [4] Boinovich L.B., Gnedenkov S.V., Alpyseva D.A., Egorin V.S., Emel'yanenko A.M., Sinebryuhov S.L., Zaretckaya A.R. *Corr. Sci.* **2012**, 55, 238-245.
- [5] Qiu R., Zhang D., Wang P. *Corr. Sci.* **2013**, 66, 350-359.
- [6] Boinovich L.B., Emel'ianenko A.M., Muzafarov A.M., Myshkovskii A.M., Pashinin A.S., Tsivadze A.Iu., Iarova D.I. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii.* **2008**, 22, 17-23 (in Russ).
- [7] Boinovich L.B., Emel'ianenko A.M. *Uspekhi khimii.* **2008**, 17, 619-638 (in Russ).
- [8] Xu Q.F., Wang J.N. *New J. Chem.* **2009**, 33, 734-738.
- [9] Ne T., Wang Y.C., Zhang Y.J., Lv Q., Xu T.G., Liu T. *Corr. Sci.* **2009**, 51, 1757-1761.
- [10] Barkhudarov P.M., Shah P.B., Watkins E.B., Doshi D.A., Brinker C.J., Majewski J. *Corr. Sci.* **2008**, 50, 897-902.
- [11] Liu T., Dong L.H., Liu T., Zin Y.S. *Electrochim. Acta*, **2010**, 55, 5281- 5285.
- [12] Li. X., Shen J. *Chemical Communications*, **2011**, 47, 10761-10763.
- [13] Wang J.P., Zhang D., Qiu R., Hou B.R. *Corros. Sci.* **2011**, 53, 2080-2086.
- [14] He Z., Ma M., Xu X., Wang J., Chen F., Deng H., Wang K., Zhang Q., Fu Q. *Applied Surface Science*, **2012**, 258, 2544-2550.

- [15] Ejenstam L., Ovaskainen L., Rodriguez- Meizoso I., Wagberg L., Pan J., Serin A., Claesson P.M. J. Colloid and Interface Science, **2013**, 412, 56-64.
- [16] Gnedkov S.V., Egorkin V.S., Sinebriukhov S.L., Vialyi I.E., Pashin A.S., Emel'ianenko A.M., Boinovich L.B. Vestnik DVO RAN, **2013**, 5, 3-11 (in Russ).
- [17] Alpysbaeva D.A., Vershok D.B., Emel'ianenko A.M., Batishchev O.V., Kuznetsov Iu.I., Boinovich L.B. Korroziia: materialy i zashchita. **2013**, 8, 42-47 (in Russ).
- [18] Gnedkov S.V., Egorkin V.S., Sinebriukhov S.L., Emel'ianenko A.M., Boinovich L.B. Vestnik DVO RAN, **2014**, 2, 52-61 (in Russ).
- [19] Khorsand S., Raeissi K., Ashrafizadeh F. Applied Surface Science, **2014**, 305, 498-505.
- [20] Cheng Y., Lu S., Xu W., Wen H. RSC Advances, **2015**, 5, 15387-15394.
- [21] Ou J., Liu M., Li W., Xue M., Li C. Applied Surface Science. **2012**, 258, 4724-4728.
- [22] Lu Z., Wang P., Zhang D. Corr. Sci. **2015**, 258, 287-296.
- [23] Lu D., Ou J., Xue M., Wang F. Applied Surface Science. **2015**, 333, 163-169.
- [24] Huang Y., Sarkar D.K., Gollant D., Chen X.G. Applied Surface Science, **2013**, 282, 689-694.

**АСА ГИДРОФОБТЫ ҚАБЫРШАҚТАРМЕН ЖАБЫЛҒАН МЕТАЛДАРДЫҢ  
ЭЛЕКТРОЛИТТЕР ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ  
КОРРОЗИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

**В. И. Вигдорович<sup>1</sup>, Л. Е. Цыганкова<sup>2</sup>, А. К. Башова<sup>3</sup>, А.Б. Башов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Техниканы және мұнай өнімдерін ауыл шаруашылығында қолдану  
Бүкілресейлік ғылыми-зерттеу институты, Тамбов, Ресей,

<sup>2</sup> Г. Р. Державин атындағы Тамбов мемлекеттік университеті, Тамбо, Ресей,

<sup>3</sup> Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>4</sup> Д. В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан

**Түйін сөздер:** көміртектенген болат, аса гидрофобтану, электрохимиялық коррозия, жылдамдық, реакция, анод, катод, қорғаушы әсер.

**Аннотация.** Металдарды коррозиядан қорғау үшін қолданылатын олардың бетінің аса гидрофобтану әдістерінің кейбір мәселелері тұжырымдалған. Аса гидрофобтанудың азирленген ерітінділерде екі парциалдық электродтық реакциялардың тежелуінің нәтижесінде металдардың коррозияға төзімділігін айтарлықтай жоғарылататыны, ал деазирленген ерітінділерде – кері эффект болатыны көрсетілген.

Аса гидрофобталған болатта (Ст3) жүретін парциалдық электродтық реакциялардың ерекшеліктерін нақтырақ айқындау мақсатында 0,5 М NaCl ерітіндісінде анодтық және катодтық реакциялардың кинетикасы зерттелді. Коррозияның жалпы жылдамдығының (K) анодтық Тафелдік қисықтықтың  $E_{кор}$ , уақытқа тәуелділігі алынды, тәуелділік тұрақты күйдің орнығуына дейін зерттелді, бұл күй жуық шамамен 72 сағатта орнықты. Сонымен қатар екі жағдайда да коррозияға электрохимиялық механизммен ұшырайтын қорғалмаған болатқа қарағанда K  $23 \pm 3$  есе азаяды. Дегенмен, бұл процесс тек ылғалданған учаскелерде жүреді деп болжауға болады.

*Поступила 14.03.2016г.*

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.chemistry-technology.kz/index.php/ru/>

Редакторы: *М. С. Ахметова, Т. А. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 08.04.2016.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
9,7 п.л. Тираж 300. Заказ 2.