
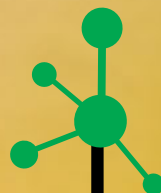


ISSN 2409-5613
2015. vol. 2. N 3

Chimica Techno Acta

 cta.urfu.ru



**CHIMICA
TECHNO
ACTA**

2015. Vol. 2. N 3

ISSN 2409-5613

Chimica Techno Acta



cta.urfu.ru

Editor-in-Chief

Yu. Yu. Morzherin (Russia)

Advisory Board

I. S. Antipin (Russia)

A. Zaytsev (UK)

M. Zinigrad (Israel)

A. Ivanov (Russia)

V. Ostrovskii (Russia)

J. Subbotina (Canada)

Zh.-J. Fan (China)

Production Editor

A. Yu. Platonova

Managing Editor

T. A. Pospelova

Founded by Ural Federal University named after the
first President of Russia B. N. Yeltsin
51, Lenin Av., 620083, Ekaterinburg, Russia

Главный редактор

Ю. Ю. Моржерин (Россия)

Редакционный совет

И. С. Антипин (Россия)

A. B. Зайцев (Великобритания)

М. И. Зиниград (Израиль)

A. B. Иванов (Россия)

B. A. Островский (Россия)

Ю. О. Субботина (Канада)

Ж.-Дж. Фан (Китай)

Научный редактор номера

A. Ю. Платонова

Зав. редакцией

T. A. Пospelova

Учредитель – Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
620083, Россия, Екатеринбург, пр. Ленина, 51

Chimica Techno Acta

2015 | September | № 3

Scientific and Technical Journal

Established in 2014

Published four times a year

International journal
Chimica Techno Acta
(Process in chemistry and
chemical technology)
issued in Russia

© Ural Federal University,
2015

Chimica Techno Acta

2015 | Сентябрь | № 3

Научно-технический журнал

Журнал основан в 2014 г.

Выходит четыре раза в год

Международный журнал
Chimica Techno Acta
(«Процессы в химии
и химической технологии»)
издается в России

© Уральский федеральный
университет, 2015

171

Bezmaternikh M.A., Selezneva I.S.
Milestones chemical technology institute:
our past and present

Безматерных М.А., Селезнева И.С.
Этапы большого пути: наше прошлое и настоящее

190

Suzdaltsev A. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P.,
Limanovskaya O. V., Nekrasov V. N.
Chronopotentiometry at platinum electrode
in $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ melt

Суздальцев А. В., Храмов А. П., Зайков Ю. П.,
Лимановская О. В., Некрасов В. Н.
Хронопотенциометрия на платине
в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$

200

Dolmatova E. A., Dayanov A. D., Ostanina T. N.
Simulation of an electrolytic bath for electrodeposition
of multilayer shielding coatings

Долматова Е. А., Даянов А. Д., Останина Т. Н.
Моделирование электролитической ванны нанесения
многослойных экранирующих покрытий

208

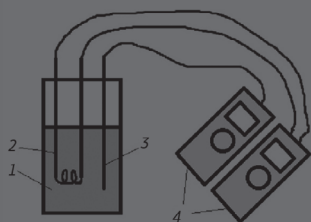
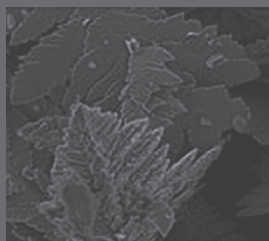
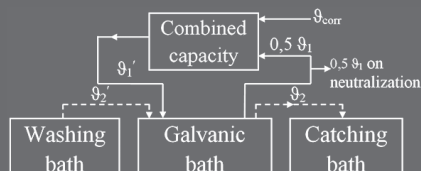
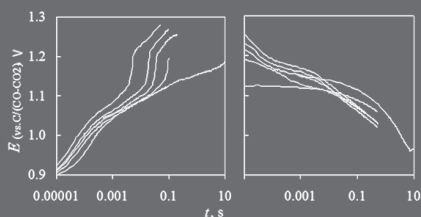
V. S. Nikitin, T.N. Ostanina, V.M. Rudoy, A.S. Farlenkov
Dynamics of electrocrystallization of dendritic zinc deposits
in galvanostatic and potentiostatic modes

Никитин В. С., Останина Т. Н., Рудой В. М., Фарленков А. С.
Динамика электрокристаллизации дендритных осадков цинка
в гальваностатическом и потенциостатическом режимах

218

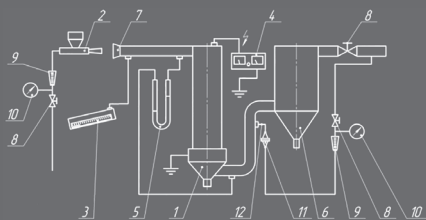
Kylosova O. V., Ilbuldina A. B., Yaroslavtseva O. V.
Study of instantaneous rate of corrosion of aluminum
in media with different acidity

Кылосова О. В., Илбулдина А. Б., Ярославцева О. В.
Исследование мгновенной скорости алюминия в средах с
разной кислотностью



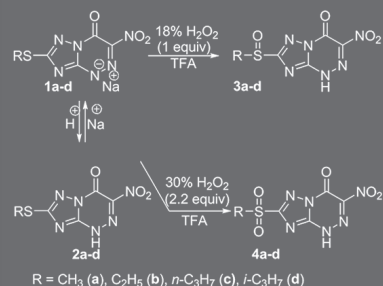
Titov A. G., Gil'vanova Z. R.,
Shevchenko E. A., Masnaviev M. K., Bir A. A.
Quantitative assessment of reentrainment
in the electrocyclone

А. Г. Титов, З. Р. Гильванова,
Е. А. Шевченко, М. К. Маснавиёв, А. А. Бир
Количественная оценка вторичного уноса
в электроциклоне



Medvedeva N. P., Sapozhnikova I. S.,
Rusinov V. L., Ulomskii E. N.
The redox transformations and nucleophilic replacements as
possible metabolic reactions of the drug "Triazaverin".
The chemical modeling of the metabolic processes

Медведева Н. Р., Сапожникова И. С.,
Русинов В. Л., Уломский Е. Н.
Редокс превращения и нуклеофильные замещения как
возможные метаболические реакции препарата
«Триазавирин». Химическое моделирование процессов
метаболизма



Melnikova A. V., Figilyantov F. P., Shein A. B.
Investigation of industrial compositions SONKOR as
corrosion inhibitors of mild steel in neutral media
containing hydrogen sulfide

Мельникова А. В., Фигильянтóв А. П., Шейн А. Б.
Изучение промышленных композиций серии СОНКОР
в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой
стали в нейтральных сероводородсодержащих средах

M. A. Bezmaternikh, I. S. Selezneva

*Chemical Technology Institute
28 Mira str., 620002, Ekaterinburg,
E-mail: max6669@rambler.ru*

Milestones chemical technology institute: our past and present

The article is devoted to the 95th anniversary of the Chemical technological Institute (CTI) of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), which will be held in October 2015. Over the years Chemical technological Institute (CTI) has undergone many structure transformations in accordance with the tasks which were set before it the time and the development of our country. Currently this is a fairly large educational and research Institute, which employs more than 100 lecturers including more than 70 associate professors – candidates (PhD), 30 professors – doctors of Sciences (Hb), 3 academics and 1 corresponding member of RAS, trained more than 850 students.

© Bezmaternikh M. A., Selezneva I. S., 2015

In October 2015 the Chemical Technology Faculty (CTF) of the Ural Polytechnic Institute named after S. M. Kirov (UPI), and now the Chemical Technology Institute (CTI) of the Ural

Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU) celebrates its 95th Foundation Anniversary.

Let's remember how it was

In March 17, 1920 the Chemical Faculty was formed as a result of the division of the Chemical-Metallurgical Faculty of the Ural Mining Institute into separate faculties – chemical and metallurgical. In October 1920 it became part of the Polytechnic Institute, which, along with Mining and other institutions was included in the newly created structure of the Ural State University. In the first academic year in the Chemistry Department were enrolled 145 students.

The first dean of the Faculty was arrived in Ekaterinburg professor of the Petrograd Institute of Technology, electrochemist Alexander Evmenievich Makovetskiy. He can rightly be called the father of the Ural School of chemical engineers. Thanks to the energy A. E. Makovetskiy in the Chemistry Department operated the laboratories for qualitative and quantitative analysis, organic and inorganic chemistry, physical chemistry, dry distillation of wood. And the laboratories were

available to the students of all faculties and the workers' school. On his initiative in Germany and England were purchased thousands of books and dozens of magazines, which laid a solid Foundation of the scientific library of the Institute.

In February 1922 the chemical and metallurgical faculties again united in the Chemical-Metallurgical Faculty (CMF). The Chemistry Department CMF was training in six specialties, such as "The main chemical productions", "Technology of silicates", "Technological Electrochemistry", "Technology of nonferrous, noble and rare metals," "Pyrogenic processes" and "Pulp and paper industry".

In May 6, 1925 the Ural State University was renamed the Ural Polytechnic Institute.

In June 11, 1929, by the decision of Council of People's Commissars of the RSFSR the chemical branch of the CMF was converted into chemical faculty, the dean of which is approved by Nikolai Rogatkin. In 1929/1930 academic year to the first year of the chemistry Department was taken 220 people.

In 1930 the UPI was transferred under the supervision of the Supreme Council of National Economy, its faculties were transformed into a branch of the technical colleges and for some time have any of the Ural Institute of Chemical Technology (UICT) subordinate to Slavhimprom VSNKh of the USSR.

In the 1930/1931 academic year UICT began work composed of five departments of: the main chemical industry; pyrogenic productions; hardware and design; silicate; engineering and economics.

In May 28, 1934 the branch technical colleges were merged into the Ural Industrial Institute (UII), in its composition on

the rights of the faculty of chemical technology entered UICT, and in December 17, 1934 UII was named after S. M. Kirov.

At the beginning of the Great Patriotic War many teachers, researchers and students of the faculty went to the defense of our motherland. The remainder of the team together with the whole country worked under the motto: "All for front, all for victory!" Students and lecturers of the chemistry Department have been created and introduced in manufacture of sulfamide drugs, which contributed to the recovery of the wounded soldiers; developed new catalysts for the flameless combustion of gasoline to use in tactical aircraft to heat engines and cockpit; work on the development and intensification of production of coke and chemical products of coking on the plants of the Urals.

In February 1948 UII was renamed the Ural Polytechnic Institute named after S. M. Kirov.

In December 24, 1992 UPI was renamed the Ural State Technical University (USTU-UII).

In April 2008, USTU-UII was named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.

In April 2010 the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin was created. In August 30, 2011 on the basis of the Chemical Technology Faculty was established the Chemical Technology Institute.

The leaders of the CTI were N. N. Rogatkin (1927–1929, 1937–1938), S. G. Mokrushin (1930, 1937), I. G. Shcherbakov (1934–1937), I. Y. Postovsky (1938–1942), A. I. Levin (1942–1947), Z. V. Pushkareva (1947–1949), V. L. Zolotavin (1949–1951), B. I. Timin (1951–1953), V. M. Cherkasov (1953–

1958), V. D. Nikitin (1958–1962), B. V. Bezezin (1962–1965), A. V. Pomosov (1965–1974), I. I. Kalinichenko (1974–1982), V. N. Desyatnik (1982–1987), O. N. Chupakhin (1987–1988), A. I. Matern (1988–2007), from 2008 to present time the Institute is headed by V. L. Rusinov.

Currently at the Institute for 10 departments work more than 100 teachers, including more than 70 associate professors – candidates of sciences, 30 professors – doctors of sciences, 3 academics and 1 corresponding member of Russian Academy of Sciences, the Institute has about 850 students. The Institute has a wide creative relationships with Ural Branch of Russian Academy of Sciences, a number of industrial enterprises of Sverdlovsk, Orenburg, Chelyabinsk regions, the Perm and Stavropol territory. All Departments are actively engaged in scientific work. More than 40 people are trained in graduate school. For the last five years at CTI protected 4 doctoral and 47 master's theses. In the ranking of hit consistently

is in the top among three institutes of the Ural Federal University.

Teachers, postgraduates and students of the faculty work closely with the Catholic University (Leuven, Belgium), Karl-August University (Germany), with a number of foreign firms. Many teachers, postgraduates and students of the Institute were trained at the Nankai University (Tian-Zhin, China), Howard University (Washington, USA), the University of Maryland (USA), Catholic University (Leuven, Belgium), the University of Geneva (Switzerland), the University of York (UK). Just a 95-year history of the CTI was released 15 461 specialists (engineers, bachelors, masters). In addition, faculty of the departments of the Institute provide educational process at the Institutes of Materials Science and Metallurgy (IMS-Mt), Fundamental Education (InFE), Ural Power Engineering (UralENIN), Physics and Technology (IPT), Mechanical Engineering (IME), Radio electronics and Information Technologies (IRIT-RTF).

Department of Organic & Biomolecular Chemistry

From 1924 to 1926 the department was headed by Karmanov S. G., from 1926 to 1976 – by Academician of the RAS Postovsky I. Ya., from 1976 to the present – by Academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of chemical sciences Chupakhin O. N.

The department offers two master programs: “Comprehensive chemical and physical study and expert evaluation of organic materials” and “Medical chemistry”, one profile bachelor – “Chemical technology of synthetic biologically active substances, pharmaceutical preparations and cosmetics”. Scientific directions of the Department

belong to different research areas of organic chemistry and organic synthesis, medicinal chemistry, materials science, namely: “Integrated chemical and physical research and expert assessment of organic materials” and “Medical Chemistry”, and one bachelor's degree program – “Chemical technology of synthetic biologically active substances, chemical and pharmaceutical preparations and cosmetics”.

Research areas of the department belong to different fields of research including organic chemistry and organic synthesis, medicinal chemistry, materials science, namely:

- nucleophilic aromatic substitution of hydrogen in heteroaromatic and aromatic systems;
- development of methods for the synthesis of heterocycles based on tandem nucleophilic reactions of various types;
- construction of heterocyclic compounds, including those having a fluorine atom in the side chain or the aromatic ring;
- development of methods for the synthesis of fluoroquinolone antibiotics and other inhibitors of DNA gyrase;
- search for substances with antiviral activity;
- synthesis of substances with pharmacological activity, such as anticoagulants, antiplatelet agents, anesthetics, etc.;
- design of anti-tuberculosis drug;
- synthesis of isotope-labeled organic compounds;

Department of Physical and Colloid Chemistry

Department of Physical and Colloid Chemistry was founded in 1920. The department was headed by professor Pershke V. K. (1920–1931), docent Zinoviev E. I. (1931–1933), doctor of chemical sciences, professor, Honored worker of science and technology of the RSFSR Mokrushin S. G. (1933–1971), professor, Honored worker of science and technology of the RSFSR Kitaev G. A. (1971–1996), doctor of chemical sciences, professor Makurin Yu. N. (1996–2002), and since 2002 to present time it is headed by professor, Honored worker of higher school Markov V. F.

The department offers 3 master programs: “Technology of materials and products of optoelectronics and sensorics”, “Physicochemical technologies of crystals and infrared optical fibers”, “Chemical thin-film technologies in optoelectronics

- development of methods for preparing substances with a critically high nitrogen content;
- development of methods for the synthesis of effective complexing agents for special purposes;
- development of agents for the extraction of rare earth elements, highly sensitive sensors and fluorescent labels;
- development of highly effective catalytic systems, including systems for asymmetric synthesis.

Over the years, the department graduated 22 doctors and 135 candidates of chemical sciences. Four employees of the department have been elected to the Russian Academy of Sciences – Academicians I. Ya. Postovsky, O. N. Chupakhin, V. N. Charushin and corresponding member of the RAS V. L. Rusinov.

and nanoelectronics”, and one bachelor’s degree program – “Physicochemical technologies of materials of electronic technology and power industry”.

Academics, graduate and undergraduate students of the department are engaged in scientific research in the following areas:

- quantum chemical modeling of the structure, functional properties and reactivity of molecules;
- development of technology of hydrochemical synthesis of thin films of dielectric, semiconductor and metal materials;
- development of new, including nanostructured, sensor materials for infrared technology and chemical analysis;
- study and development of new fiber materials, scintillators, and based on them creation of optical fibers for infrared region of the spectrum;

– synthesis and study of properties of new X-ray contrast agents for medicine.

The department has trained more than 90 candidates and 6 doctors of sciences.

Department of Technology of Inorganic Substances

Department of Technology of inorganic substances was founded in 1920. The department was headed by professor Yushkevich N. F. (1921–1923), professor Makovetskiy A. E. (1923–1929), professor Shabalin K. N. (1929–1937), professor Kuz'minykh I.N. (1937–1943), professor Vilnyansky Ya.E. (1943–1973), docent Chukhlantsev V.G. (1973–1978), professor Desyatnik V.N. (1978–2001), professor Trifonov K. I. (1997–1999), and since 2001 to present time it is headed by professor Katishev S. F.

The department implements the master program “Chemical Technology of basic inorganic synthesis” and the bachelor's degree program “Chemical technology of inorganic substances”.

Scientific fields of the department are:

- physical chemistry and technology of melts containing rare earth elements;
- development of methods of physicochemical analysis of ionic equilibria in complex composition solutions;
- physicochemical basis of preparation of magnesium chloride feed to electrolysis;
- effective ways of using waste products of hydrofluoric and phosphoric acids and fluorides;
- development and simulation of technologies for processing man-made structures.

To date the department has trained 2 Academicians, 4 laureates of the State Prize, 5 doctors and 50 candidates of sciences.

Department of processes and apparatus of chemical technology

Department of processes and apparatus of chemical technology was established in 1920. The department was headed by professor Makovetskiy A. E. (1920–1932), professor Plyusnin V.G. (1932–1936), professor Shabalin K. N. (1936–1966), professor Zaostrovsky F.P. (1967–1991), professor Pospelov F.M. (1992–1995), professor Ermakov A. A. (1995–2010), and since 2011 to present time it is headed by professor Ermakov S. A.

The department trains bachelors in the profile “Basic processes of chemical production and chemical cybernetics”.

Academics, staff, graduate and undergraduate students of the department are involved in fundamental and applied research in two areas:

- intensifying the mass and heat transfer under conditions of hydrodynamic instability of the phases contact surface in liquid-liquid systems;
- hydrodynamic separation of heterogeneous gas systems.

Department of Technology of Electrochemical Production

Department of Technology of Electrochemical Production was founded in 1923. The department was headed by professor Shcherbakov I.G. (1923–1938),

professor Esin O. A. (1938–1944), professor Levin A.I. (1944–1978), professor Pomosov A.V. (1978–1988), professor Rudoi V.M. (1988–1998), professor

Samoilenko V. N (1998–2000), and since 2000 to present time it is headed by professor Zaykov Yu. P.

Currently, the department offers one bachelor's degree program: "Technology of electrochemical productions", master programs: "Electrochemical processes and productions", "Hydrogen and electrochemical power industry", "Technology of chemical and electrochemical materials protection".

The cooperation of the department with factories of OJSC "Gazprom" has resulted in the opening a new form of specialists education which is applied bachelor's program.

The main *scientific fields of the department* are basic research in the field

of electrodeposition and electrocrystallization of metals, protection against materials corrosion, production of current sources:

- model description of electrocrystallization of metals in the form of dendrites;
- electrolysis in nonferrous metallurgy;
- electrolytic molding of gold and silver articles;
- study of corrosion protective properties of paint coatings and protective alloys;
- improvement manufacturing processes and electrical characteristics of a lead accumulator.

More than 40 graduates of the department became doctors of sciences and 170 are candidates of sciences.

Department of chemical technology of fuel and industrial ecology

Department of chemical technology of fuel and industrial ecology was founded in 1923.

The department was headed by professor Rogatkin N. N. (1923–1944), professor Syskov K. I. (1944–1947), professor Gofman M. V. (1947–1967), professor Kharlampovich G. D. (1967–1997), docent Shishov M. G. (1997–2008), and since 2008 to present time it is headed by docent Stakheev S. G.

Currently, the department offers the following bachelor's degree programs: "Chemical technology of natural energy resources" and "Environmental protection and rational use of natural resources", as well as the following master programs:

"Chemical technology of natural energy resources and carbon materials" and "Industrial ecology and rational use of natural resources".

The main scientific fields of the department are:

- optimization of processes of coal processing and products produced from them in different pyrogenetic processes;
- environmental impact assessment of projects and the development of environmental design documentation.

22 graduates of the department became doctors of sciences and 130 are candidates of technical and chemical sciences.

Department of Machines and Apparatus for Chemical Productions

Department of Machines and Apparatus for Chemical Productions was organized in 1932. The department was headed by professor Dal'-Chumachenko V.I.

(1932–1941), professor Shabalin K. N. (1941–1960), professor Volgin B. P. (1960–1977), Berezin B. V. (1977–1982), docent Yugay F. S. (1982–1996), profes-

sor Chernomurov F. M. (1996–2006), and since 2006 to present time it is headed by professor Khomyakov A. P.

Today, the undergraduate training is implemented on the bachelor's degree programs «Machines and apparatus for chemical productions», “Machines and apparatus for food production,” and on master's degree program “Machines and apparatus for chemical productions”.

The main scientific research fields of the department relate to:

- development of heat and mass transfer apparatus based on the Venturi tube;
- implementation of high-speed spray type apparatus for the treatment of process gases in a variety of productions;
- removal of harmful impurities, cooling, absorption;
- development of systems of gas purification from dust, mist, vapor, based on ejection type scrubbers;
- modernization of evaporation and heat exchange equipment, boiler deaerators;

Department of Analytical Chemistry

Department of Analytical Chemistry was founded in 1933. The department was headed by docent Levin A. B. (1933–1938), professor Tananaev N. A. (1938–1959), professor Podchaynova V. N. (1960–1977), professor Polezhaev Yu. M. (1977–2000), since 2000 to present time it is headed by professor Matern A. I.

The department offers two master programs “Electrochemical methods and sensors for environmental and biological objects monitoring”, “Instrumental methods of research in the pharmaceutical industry”. From 2015 the department offers one bachelor's degree program: “Instru-

– study of wear of parts of hydraulic machines at cavitation and hydroabrasive impact;

– development of apparatus in the field of resource and energy saving technologies;

– use of hydrodynamic cavitation systems for dissipative heating; homogenizing and pasteurizing liquids for food and industrial use;

– applying the principle of evaporation-condensation heat exchange to create technological and power equipment, utilization of secondary energy resources;

– development and implementation of energy technological complexes, providing the ultimate closure of material and energy flows within the unit, department, factory;

– investigation of processes and development of equipment for the food industry.

The department has prepared 13 laureates of Lenin and State Prizes of the USSR Council of Ministers Prize, 7 doctors of sciences, 107 candidates of sciences.

mental methods of analysis of natural and technical objects”.

Currently, the department of analytical chemistry of the CTI conducts active scientific research. Main research fields are:

– development of sensors, instruments and automated electrochemical complex for environmental monitoring of heavy metals in online mode;

– studies of antioxidant and anti-radical activity of solutions;

– non-enzymatic methods for determining diagnostically significant parameters;

– development of methods for electrochemical immunoassay;

- study of the toxicity of nanoparticles;
- study of mechanisms electro-transformations of organic compounds and pharmaceuticals;

- definition of basic substance and impurities in pharmaceuticals.

Department of Technology for Organic Synthesis

Department of Technology for Organic Synthesis was established in 1947. Department was headed by professor, Honored worker of science and technology of the RSFSR Pushkareva Z. V. (1947–1982), professor Shishkina V. I. (1982–1988), professor Mokrushin V. S. (1988–2008), from 2008 to present time it is headed by professor Bakoulev V. A.

The department of TOS offers bachelors 3 bachelor's degree programs: "Chemical technology of organic substances", "Biotechnology" and "Food biotechnology". 6 master's programs are implemented: "Chemical technology of fine organic synthesis", "Chemical technology of biologically active substances", "Chemical technology of basic organic and petrochemical synthesis», «Chemical technology of plastics," "Medical biotechnology",

"Food biotechnology" (in Russian and English).

The main research fields of the department are:

- fine organic synthesis in the field of heterocyclic and natural compounds;
- creation of new advanced materials;
- development of new and improvement of the known technological processes;
- nanotechnologies based on organic compounds;
- medical, food and environmental biotechnology.

Among the graduates and staff of the department 370 people defended their candidate's dissertations, 40 – doctoral dissertations, 20 graduates received the State Prize, 15 became heads of departments of various universities.

Department of Immunochemistry

Department of Immunochemistry was founded in 2000 on the initiative and with the participation of Academician Chereshev V. A., who heads the department from the first days of creation and to present time.

The department offers master program "Immunobiotechnology."

Scientific activity of the department is connected with the research in the field of biochemistry and immunochemistry. One of the research fields is the study of non-enzymatic protein glycosylation reaction that underlies the pathogenesis of many social diseases. The second field

is the study of mechanisms of cytokine regulation of physiological processes in blood cells and vascular walls in hyperglycemia. This work is done in collaboration with the Institute of Immunology of the Russian Academy of Sciences.

Currently, the Chemical Technology Institute offers three directions for undergraduate students: "Biotechnology", "Chemical technology", "Energy and resource saving processes in chemical technology, petrochemistry and biotechnology", as well as offers the same directions and the direction "Chemistry" for masters. The Institute implements 12 individ-

ual bachelor's degree programs within the undergraduate education and 24 master programs, including one in English.

In 2008, the educational program "Technology of electrochemical production" (TECP) passed the procedure of public and professional accreditation of the Association of Engineering Education of Russia. Specialization TECP is the only specialization in the Urals region, which is assigned a European quality mark EUR-ACE®.

In June 2012 the basic education program "Biotechnology" passed the procedure of public and professional accreditation of the Public Accreditation Agency for Higher Education Quality Assurance and Career Development and confirmed the conformity of the quality of training of graduates of the program to quality standards and quality assurance, established on the basis of the recommendations of the European Association for Quality Assurance in Higher education.

In addition to academic work lecturers and staff are actively engaged in scientific research. Due to the internationalization the research received a powerful impetus for development. The number of articles

and books published in international journals in English has been increased. Original chemical compounds with biological activity have been synthesized. Students under the guidance of lecturers are actively involved in implementation of sophisticated chemical experiments. Foreign scientists from leading universities around the world often come to the Institute to delivery lectures to staff and students. On the other hand, our undergraduate and graduate students regularly travel abroad (Australia, Austria, England, Belgium, Germany, China, USA and Japan) for undertaking scientific internships. There they can get a new experience, gain new knowledge and improve spoken English. Our staff and graduate students often win grants for the implementation of scientific research and participation in Russian and international conferences.

In conclusion we would like to congratulate all the academics, staff, students and graduates of the Chemical Technology Institute with the upcoming anniversary! We wish you all success and new victories! We love CTI! We wish CTI all the best!

М. А. Безматерных, И. С. Селезнева

*Химико-технологический институт
620002 Екатеринбург, ул. Мира, 28.
E-mail: max6669@rambler.ru*

Этапы большого пути: наше прошлое и настоящее

Статья посвящена 95-летию Химико-технологического института (ХТИ) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), который состоится в октябре 2015 года. За эти годы Химико-технологический институт (ХТИ) претерпел множество структурных преобразований в соответствии с задачами, которые ставили время и развитие нашей страны. В настоящее время это достаточно большой учебный и исследовательский институт, в котором работают более 100 преподавателей, из них свыше 70 доцентов – кандидатов наук, 30 профессоров – докторов наук, 3 академика и 1 член-корреспондент РАН, обучаются более 850 студентов.

© Безматерных М. А., Селезнева И. С., 2015

В октябре 2015 года исполняется 95 лет химико-технологическому факультету (ХТФ), Уральского политехнического института имени С. М. Кирова (УПИ), а ныне – Химико-

технологическому институту (ХТИ) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ).

Вспомним, как это было

17 марта 1920 года образовался химический факультет в результате разделения химико-металлургического факультета Уральского горного института на отдельные факультеты – химический и металлургический. В октябре 1920 года он вошел в состав Политехнического института, который наряду с Горным и другими институтами был включен в структуру вновь созданного Уральского госуниверситета.

В первом учебном году на химфаке обучалось 145 студентов.

Первым деканом факультета стал приехавший в Екатеринбург профессор Петроградского технологического института, электрохимик Александр Евменьевич Маковецкий. Его по праву можно назвать отцом уральской школы инженеров-химиков. Благодаря энергии А. Е. Маковецкого на химфаке действовали лаборатории качествен-

ного и количественного анализа, органической и неорганической химии, физической химии, сухой перегонки дерева. Причем лаборатории были доступны для студентов всех факультетов и рабфака. По его инициативе в Германии и Англии были закуплены тысячи книг и десятки журналов, заложивших солидную основу научной библиотеки института.

В феврале 1922 года химический и металлургический факультеты снова объединены в химико-металлургический факультет (ХМФ). На химическом отделении ХМФ осуществлялась подготовка специалистов по шести специальностям: «Основные химические производства», «Технология силикатов», «Технологическая электрохимия», «Технология цветных, благородных и редких металлов», «Пирогенные процессы» и «Целлюлозно-бумажное производство».

6 мая 1925 года Уральский государственный университет был переименован в Уральский политехнический институт.

11 июня 1929 года решением СНК РСФСР химическое отделение ХМФ преобразовано в химический факультет, деканом которого утвержден Николай Николаевич Рогаткин. В 1929/1930 учебном году на первый курс химфака было принято 220 человек.

В 1930 году УПИ был передан в ведение ВСНХ, его факультеты преобразованы в отраслевые втузы, и на некоторое время возник Уральский химико-технологический институт (УХТИ), подчиненный Главхимпрому ВСНХ СССР.

В 1930/1931 учебном году УХТИ начал работу в составе пяти отделений: основной химической промышленно-

сти; пирогенных производств; аппаратно-конструкторского; силикатного; инженерно-экономического.

28 мая 1934 году отраслевые втузы были объединены в Уральский индустриальный институт (УИИ), в его состав на правах химико-технологического факультета вошел УХТИ, а 17 декабря 1934 года УИИ было присвоено имя С. М. Кирова.

В начале Великой Отечественной войны многие преподаватели, научные работники и студенты факультета ушли на защиту нашей Родины. Оставшаяся часть коллектива вместе со всей страной трудилась под девизом: «Все для фронта, все для победы!» Преподавателями и учеными химфака были созданы и внедрены в производство сульфамидные препараты, которые способствовали выздоровлению раненых воинов; разработаны новые катализаторы для беспламенного горения бензина с целью применения во фронтовой авиации для обогрева моторов и кабин самолетов; проведена работа по развитию и интенсификации производства кокса и химических продуктов коксования на заводах Урала.

В феврале 1948 года УИИ был переименован в Уральский политехнический институт имени С. М. Кирова.

24 декабря 1992 года УПИ переименован в Уральский государственный технический университет (УГТУ-УПИ).

В апреле 2008 года УГТУ-УПИ присвоено имя первого Президента России Б. Н. Ельцина.

В настоящее время в институте на 10 кафедрах работают более 100 преподавателей, из них свыше 70 доцентов – кандидатов наук, 30 профессоров – докторов наук, 3 академика

и 1 член-корреспондент РАН, обучаются около 850 студентов. Институт имеет широкие творческие связи с УрО РАН, целым рядом промышленных предприятий Свердловской, Оренбургской, Челябинской областей, Пермского и Ставропольского края. Все кафедры активно ведут научную работу. Более 40 человек обучаются в аспирантуре. За пять последних лет на ХТИ защищено 4 докторских и 47 кандидатских диссертаций. В общеуниверситетском рейтинге ХТИ стабильно входит в тройку лучших институтов УрФУ.

Преподаватели, аспиранты и студенты факультета тесно взаимодействуют с Католическим университетом (г. Левен, Бельгия), Карл-Август Университетом (Германия), с целым рядом зарубежных фирм. Многие преподаватели, аспиранты и студенты ХТИ

Кафедра органической химии

С 1924 по 1926 год кафедру возглавлял С. Г. Карманов, с 1926 по 1976 год – академик РАН И. Я. Постовский, с 1976 года по настоящее время – академик РАН, доктор химических наук О. Н. Чупахин.

На кафедре реализуется подготовка по двум магистерским программам: «Комплексное химическое и физическое исследование и экспертная оценка органических материалов» и «Медицинская химия», по одному профилю бакалавриата – «Химическая технология синтетических биологически активных веществ, химико-фармацевтических препаратов и косметических средств».

Научные направления кафедры относятся к разным областям исследова-

прошли стажировку в Нанкайском университете (г. Тянь-Жинь, Китай), Хавардском университете (г. Вашингтон, США), университете г. Мэриленд (США), Католическом университете (г. Левен, Бельгия), Женевском университете (Швейцария), Йоркском университете (Великобритания).

Всего за 95-летию истории ХТИ было выпущено 15 461 специалист (инженеров, бакалавров, магистров). Кроме того, преподаватели кафедр ХТИ осуществляют образовательный процесс в Институтах материаловедения и металлургии (ИМиМт), Фундаментального образования (ИнФО), Уральском энергетическом (УралЭНИН), Физико-технологическом (ФТИ), Механико-машиностроительном (ММИ), Радиоэлектроники и информационных технологий (ИРИТ-РТФ).

ний – органической химии и органического синтеза, *лекарственной химии, материаловедения, а именно:*

- ароматическое нуклеофильное замещение водорода в гетероароматических и ароматических системах;
- создание методов синтеза гетероциклов, основанных на тандемных нуклеофильных реакциях различного типа;
- конструирование гетероциклических соединений, в том числе имеющих атомы фтора в боковой цепи или ароматическом ядре;
- разработка методов синтеза антибиотиков фторхинолонового ряда и других ингибиторов ДНК-гиразы;
- поиск веществ, обладающих противовирусной активностью;

– синтез веществ, обладающих фармакологической активностью – антикоагулянтов, антиагрегантов, анестетиков и др.;

– создание противотуберкулезных препаратов;

– синтез изотопно-меченых органических соединений;

– разработка методов получения веществ с критически высоким содержанием азота;

– развитие способов синтеза эффективных комплексообразователей специального назначения,

– создание экстрагентов редкоземельных элементов, высокочувствительных сенсоров и люминесцентных меток;

– создание высокоэффективных каталитических систем, в том числе для асимметрического синтеза.

За годы существования кафедрой подготовлено 22 доктора и 135 кандидатов химических наук. Четыре сотрудника кафедры избраны членами РАН – академики И. Я. Постовский, О. Н. Чупахин, В. Н. Чарушин и член-корреспондент РАН В. Л. Русинов.

Кафедра физической и коллоидной химии

Кафедра физической и коллоидной химии основана в 1920 году. Кафедру возглавляли профессор В. К. Першке (1920–1931), доцент Е. И. Зиновьев (1931–1933), д. х. н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР С. Г. Мокрушин (1933–1971), д. х. н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР Г. А. Китаев (1971–1996), д. х. н., профессор Ю. Н. Макурин (1996–2002), а с 2002 г. – д. х. н., профессор, почетный работник высшей школы В. Ф. Марков.

На кафедре открыты три магистерские программы: «Технологии материалов и изделий оптоэлектроники и сенсорики», «Физико-химические технологии кристаллов и ИК-световодов», «Химические тонкопленочные технологии в оптоэлектронике и наноэлектронике» и один профиль бакалавриата – «Физико-химические технологии материалов электронной техники и энергетики».

Преподаватели, аспиранты и студенты кафедры занимаются научной работой по следующим направлениям:

– квантово-химическое моделирование структуры, функциональных свойств и реакционной способности молекул;

– разработка технологии гидрохимического синтеза тонких пленок диэлектрических, полупроводниковых и металлических материалов;

– разработка новых, в том числе наноструктурированных, сенсорных материалов для инфракрасной техники и химического анализа;

– исследование и разработка новых волоконных материалов, сцинтилляторов и создание на их основе световодов для ИК-области спектра;

– синтез и исследование свойств новых рентгеноконтрастных веществ для медицины.

Кафедрой подготовлено более 90 кандидатов и 6 докторов наук.

Кафедра технологии неорганических веществ

Кафедра технологии неорганических веществ основана в 1920 году. Заведующими кафедрой были профессор А. Е. Маковецкий (1923–1929), профессор Н. Ф. Юшкевич (1921–1923), профессор К. Н. Шабалин (1929–1937), профессор И. Н. Кузьминых (1937–1943), профессор Я. Е. Вильнянский (1943–1973), доцент В. Г. Чухланцев (1973–1978), профессор В. Н. Десятник (1978–2001), профессор К. И. Трифонов (1997–1999), с 2001 г. – профессор С. Ф. Катышев.

На кафедре реализуется магистерская программа «Химическая технология основного неорганического синтеза» и профиль бакалавриата «Химическая технология неорганических веществ».

К научным направлениям кафедры относятся:

- физическая химия и технология расплавов, содержащих редкоземельные элементы;
- разработка методов физико-химического анализа ионных равновесий в растворах сложного состава;
- физико-химические основы подготовки хлормагниевого сырья к электролизу;
- эффективные направления использования отходов производства фтороводородной и фосфорной кислот и фтористых солей;
- разработка и моделирование технологий переработки техногенных образований.

На сегодняшний день кафедра подготовила 2 академиков, 4 лауреатов Государственной премии, 5 докторов наук и более 50 кандидатов наук.

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии организована в 1920 году. Кафедрой заведовали профессор А. Е. Маковецкий (1920–1932), профессор В. Г. Плюснин (1932–1936), профессор К. Н. Шабалин (1936–1966), профессор Ф. П. Заостровский (1967–1991), профессор Ф. М. Поспелов (1992–1995), профессор А. А. Ермаков (1995–2010), с 2011 года – профессор С. А. Ермаков.

Кафедра готовит бакалавров по профилю «Основные процессы хими-

ческих производств и химическая кибернетика».

Преподаватели, сотрудники, аспиранты и студенты кафедры проводят фундаментальные и прикладные исследования по двум направлениям:

- интенсификация массо- и теплообмена в условиях гидродинамической неустойчивости поверхности контакта фаз в системах жидкость-жидкость;
- гидродинамическое разделение неоднородных газовых систем.

Кафедра технологии электрохимических производств

Кафедра технологии электрохимических производств основана в 1923 году. Кафедру возглавляли профессор И. Г. Щербаков (1923–1938), профес-

сор О. А. Есин (1938–1944), профессор А. И. Левин (1944–1978), профессор А. В. Помосов (1978–1988), профессор В. М. Рудой (1988–1998), профессор

В. Н. Самойленко (1998–2000), с 2000 года – профессор Ю. П. Зайков.

В настоящее время кафедра готовит бакалавров по профилю «Технология электрохимических производств», магистрантов по программам «Электрохимические процессы и производства», «Водородная и электрохимическая энергетика», «Технология химической и электрохимической защиты материалов».

Результатом взаимодействия кафедры с предприятиями ОАО «Газпром» стало открытие новой формы обучения специалистов прикладного бакалавриата.

Основными научными направлениями кафедры являются фундаментальные исследования в области электро-

осаждения и электрокристаллизации металлов, защиты от коррозии материалов, производства источников тока:

- модельное описание электрокристаллизации металлов в виде дендритов;

- электролиз в цветной металлургии;
- электролитическое формование изделий из золота и серебра;

- исследование коррозионно-защитных свойств лакокрасочных покрытий и протекторных сплавов;

- совершенствование технологических процессов производства и электрических характеристик свинцового аккумулятора.

Более 40 выпускников кафедры стали докторами наук и 170 – кандидатами наук.

Кафедра химической технологии топлива и промышленной экологии

Кафедра химической технологии топлива и промышленной экологии основана в 1923 году.

Кафедру возглавляли профессор Н. Н. Рогаткин (1923–1944), профессор К. И. Сысков (1944–1947), профессор М. В. Гофман (1947–1967), профессор Г. Д. Харлампович (1967–1997), доцент М. Г. Шишов (1997–2008), с 2008 года – доцент С. Г. Стахеев.

В настоящее время кафедра готовит бакалавров по профилям «Химическая технология природных энергоносителей» и «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», а также магистрантов по программам «Химическая

технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и «Промышленная экология и рациональное использование природных ресурсов».

Основными научными направлениями работы кафедры являются:

- оптимизация процессов переработки углей и получаемых из них при различных пирогенетических процессах продуктов;

- экологическая экспертиза проектов и разработка экологической проектной документации.

22 выпускника кафедры стали докторами наук и 130 – кандидатами технических и химических наук.

Кафедра машин и аппаратов химических производств

Кафедра машин и аппаратов химических производств организована в 1932 году. Кафедру возглавля-

ли профессор В. И. Даль-Чумаченко (1932–1941), профессор К. Н. Шабалин (1941–1960), профессор Б. П. Волгин

(1960–1977), Б. В. Березин (1977–1982), доцент Ф. С. Югай (1982–1996), профессор Ф. М. Черномуров (1996–2006), с 2006 года – профессор А. П. Хомяков.

Сегодня обучение в рамках бакалавриата ведется по профилям «Машины и аппараты химических производств», «Машины и аппараты пищевых производств» и в магистратуре по программе ««Машины и аппараты химических производств».

К основным научным направлениям деятельности кафедры относятся:

- разработка тепло- и массообменных аппаратов на основе трубы Вентури;
- внедрение скоростных аппаратов распыляющего типа для обработки технологических газов в различных производствах;
- очистка от вредных примесей, охлаждение, абсорбция;
- разработка систем очистки газов от пыли, тумана, паров на основе скрубберов эжекционного типа;
- модернизация выпарного и теплообменного оборудования, котельных деаэраторов;
- исследования изнашивания деталей гидравлических машин при ка-

Кафедра аналитической химии

Кафедра аналитической химии основана в 1933 году. Кафедрой заведовали доцент А. Б. Левин (1933–1938), профессор Н. А. Тананаев (1938–1959), профессор В. Н. Подчайнова (1960–1977), профессор Ю. М. Полежаев (1977–2000), с 2000 года – профессор А. И. Матерн.

На кафедре ведется подготовка магистрантов по двум программам «Электрoхимические методы и senso-

витационном и гидроабразивном воздействии;

- разработка аппаратов в области ресурсо- и энергосберегающих технологий;

- применение гидродинамических кавитационных установок для диссипативного нагрева; гомогенизации и пастеризации жидких сред пищевого и технического назначения;

- применение принципа испарительно-конденсационного теплообмена для создания технологического и теплоэнергетического оборудования, утилизации вторичных энергоносителей;

- разработка и внедрение энерго-технологических комплексов, обеспечивающих предельную замкнутость материальных и энергетических потоков в рамках агрегата, цеха, предприятия;

- исследование процессов и разработка аппаратуры для пищевых производств.

Кафедрой подготовлено 13 лауреатов Ленинской и Государственной премий СССР, премии Совета Министров, 7 докторов наук, 107 кандидатов наук.

ры для мониторинга окружающей среды и биологических объектов», «Инструментальные методы исследования в фармацевтике». В 2015 году кафедра открыла бакалавриат по профилю «Инструментальные методы анализа природных и технических объектов».

В настоящее время кафедра аналитической химии ХТИ ведет активную научную работу. Основные направления исследований:

- разработка сенсоров, приборов и автоматического электрохимического комплекса для экомониторинга тяжелых металлов в online-режиме;
- исследования антиоксидантной и антирадикальной активности растений;
- бесферментные методы определения диагностически значимых параметров;

- разработка методов электрохимического иммуноанализа;
- исследование токсичности наночастиц;
- исследование механизмов электропревращений органических соединений и фармпрепаратов;
- определения основного вещества и примесей в фармпрепаратах.

Кафедра технологии органического синтеза

Кафедра технологии органического синтеза (ТОС) организована в 1947 году. Кафедрой заведовали профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР З.В. Пушкарева (1947–1982), профессор В.И. Шишкина (1982–1988), профессор В.С. Мокрушин (1988–2008), с 2008 года по настоящее время – профессор В.А. Бакулев.

Кафедра ТОС выпускает бакалавров по трем профилям: «Химическая технология органических веществ», «Биотехнология» и «Пищевая биотехнология». Реализуются шесть магистерских программ: «Химическая технология тонкого органического синтеза», «Химическая технология биологически активных веществ», «Химическая технология основного органического и нефтехимического синтеза», «Химическая технология пластических масс», «Медицинская биотехнология», «Пищевая биотех-

нология» (на русском и английском языках).

Основными научными направлениями кафедры являются:

- тонкий органический синтез в области гетероциклических и природных соединений;
- создание новых перспективных материалов;
- разработка новых и совершенствование известных технологических процессов;
- нанотехнологии на основе органических соединений;
- медицинская, пищевая и экобиотехнология.

Из числа выпускников и сотрудников кафедры 370 человек защитили кандидатские диссертации, 40 – докторские, 20 выпускников стали лауреатами Государственной премии, 15 – заведующими кафедрами различных вузов.

Кафедра иммунохимии

Кафедра иммунохимии основана в 2000 году по инициативе и при участии академика РАН В.А. Черешнева, который с первых дней создания и по настоящее время возглавляет кафедру.

Кафедра ведет подготовку магистрантов по программе «Иммунобиотехнология».

Научная деятельность кафедры связана с исследованиями в области биохимии и иммунохимии. Одним из

научных направлений является изучение реакции неферментативного гликозилирования белков, которая лежит в основе патогенеза многих социально значимых заболеваний. Второе направление – исследование механизмов цитокининовой регуляции физиологических процессов в клетках крови и сосудистой стенки в условиях гипергликемии. Эта работа выполняется совместно с Институтом иммунологии РАН.

В настоящее время в Химико-технологическом институте ведется подготовка бакалавров по трем направлениям: «Биотехнология», «Химическая технология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», а также магистрантов по этим же направлениям и по направлению «Химия». В рамках бакалавриата реализуется подготовка по 12 индивидуальным траекториям (профилям) и в магистратуре открыто 24 магистерские программы, в том числе одна на английском языке.

В 2008 году образовательная программа «Технология электрохимических производств» прошла процедуру общественно-профессиональной аккредитации Ассоциации инженерного образования России. Специальность ТЭХП – единственная специальность в Уральском регионе, которой присвоен европейский знак качества EUR-ACE®.

В июне 2012 года основная образовательная программа «Биотехнология» прошла общественно-профессиональную аккредитацию Агентства по общественному контролю качества образования и развитию карьеры

и подтвердила соответствие качества подготовки выпускников программы Стандартам качества и гарантий качества, установленным на основании рекомендаций Европейской ассоциации гарантий качества в высшем образовании.

Помимо учебной работы, преподаватели и сотрудники кафедр активно занимаются научными исследованиями. Благодаря интернационализации научные исследования получили мощный импульс к развитию. Увеличилось количество статей и монографий, опубликованных в международных журналах на английском языке. Синтезированы оригинальные химические соединения с биологической активностью. Студенты под руководством преподавателей активно участвуют в выполнении сложных химических экспериментов. К нам часто приезжают иностранные ученые из ведущих университетов мира для чтения лекций сотрудникам кафедры и студентам. С другой стороны, наши студенты и аспиранты регулярно выезжают за рубеж (Австралия, Австрия, Англия, Бельгия, Германия, Китай, США и Япония) для прохождения научных стажировок за рубежом. Там они приобретают новый жизненный опыт, получают новые знания и совершенствуют разговорный английский язык. Наши сотрудники и аспиранты часто выигрывают гранты на выполнение научных работ и для участия в российских и международных конференциях.

В заключение хочется поздравить всех преподавателей, сотрудников, студентов и выпускников химико-техно-

логического института с предстоящим юбилеем! Желаем всем творческих успехов и новых побед! Мы любим тебя, ХТИ! Живи, процветай и крепни!

A. V. Suzdaltsev, A. P. Khramov, Yu. P. Zaikov,
O. V. Limanovskaya, V. N. Nekrasov

*Institute of High-Temperature Electrochemistry
UB RAS, 20 Akademicheskaya street,
620990, Ekaterinburg.
E-mail: suzdaltsev_av@mail.ru*

Chronopotentiometry at platinum electrode in KF-NaF-AlF₃-Al₂O₃ melt*

Some features of the mechanism of the anode process on platinum in KF-NaF-AlF₃-Al₂O₃ melt at 750–780 °C depending on the of anodic current density (0.5 mA/cm² to 2.0 A/cm²) and anodic pulse duration have been studied using chronopotentiometry method.

In curves of change in the platinum anode potential a small peak at current densities of 10–30 mA/cm² and a clear peak at current densities of 0.5–2.0 A/cm² are recorded when the current is cut on. Analysis of dependencies of the transition time on the current density indicates that the first peak in curve is associated with the formation of an oxide compound on the platinum surface, and the second one is related to hindering the diffusion for delivery of electroactive particles to its surface.

Key words: Chronopotentiometry, mechanism of the anode process, platinum anode, aluminium

* The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 13–03–00829 A).

© Suzdaltsev A. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P., Limanovskaya O. V., Nekrasov V. N., 2015

Introduction

At the present time research is directed to the development of physicochemical bases of technology for production of aluminum by electrolysis of KF-NaF-AlF₃-Al₂O₃ melt at 750–850 °C using non-consumable anodes conducting in the world [1–3]. In order to avoid a rapid corrosion of the anodes it is necessary to select both its formulation and a method of manufacturing, and optimal electrolysis modes. The latter implies the establishment of regularities of kinetics of

oxygen release at the anode using electrochemical methods of analysis. Platinum can serve as an experimental model of a non-consumable anode.

Earlier [4] a comparative analysis of experimental and modeling stationary polarization curves for platinum in KF-NaF-AlF₃-Al₂O₃ melt at 725–800 °C has been conducted.

It has been shown that the primary charge transfer to form O_{ads} particles adsorbed on platinum is accompanied by

their desorption by physical or electrochemical mechanism. A more complete description of the mechanism features of the process under study can be achieved as the result of using the complex of electrochemical analysis methods, including non-stationary ones.

Experiment

Experiments were performed in alundum crucible [4], which was placed in a quartz cell purged with argon or oxygen. The auxiliary nichrome electrode was placed in a porous alundum tube that serves as a diaphragm. As the working electrode platinum purity of 99.9926 % (JSC "Revda Non-Ferrous Metals Processing Works") was used. As the reference electrode a gas carbon electrode [5] in the equilibrium mixture of CO and CO₂ served. Measurements were carried out in the melt (wt. %):

Results and discussion

Figure 1 shows typical curves of change in the potential of the platinum anode obtained on platinum in KF-NaF-AlF₃-Al₂O₃ melt at 750–780 °C when cutting on and cutting off the anode current. A peak in cut on curve is observed at low current densities (up to ≈30 mA/cm²). Increasing the anode current density from 0.5 to 30 mA/cm² results in shifting of a peak potential from ≈ 0.44 to 0.58 V in respect of the carbon electrode and reducing the transition time from 1.1 to 0.005 s. In our view, electrochemical platinum oxidation accompanied by filling its surface by oxidation product can act as the process in said section. Despite the instability of platinum oxide at temperatures above 560 °C [6] electrochemical formation of platinum oxide was observed in

The present work is devoted to the experimental study of non-stationary anode process on platinum by chronopotentiometry in KF-NaF-AlF₃-Al₂O₃ melt at 750–780 °C.

39.6KF-7.1NaF-47.3AlF₃-6.0Al₂O₃ at temperature 750–780 °C.

Chronopotentiograms were obtained at anodic current densities from 0.05 mA/cm² to 2.0 A/cm² with a sampling frequency up to 750 kHz using PG-STAT AutoLab 320N and software NOVA 1.10 (Eco Chemie, the Netherlands). To calculate the anode overvoltage using the procedure «I-Interrupt» ohmic resistance in the section of polarizing circuit included in the measuring circuit were determined.

a cryolite-alumina melt at 1000 °C [7]. The diffusive character of the dependence of the transition time on the current density at that may be caused by limiting oxygen delivery to the platinum through the oxidized layer (or the growth rate of the oxide film).

Increasing the length of the anode current pulses of value up to ≈30 mA/cm² (Fig. 1a), does not give rise to the second peak in the cut on curve associated with hindering the diffusion for delivery of electroactive oxygen-containing Al-O-F component from the melt content to the layer near the anode. Its expression is observed for the system under study with an increase in the magnitude of anode current density from 0.5 A/cm² (Fig. 1b), at that the transition times are from 2 ms to 10–15 s.

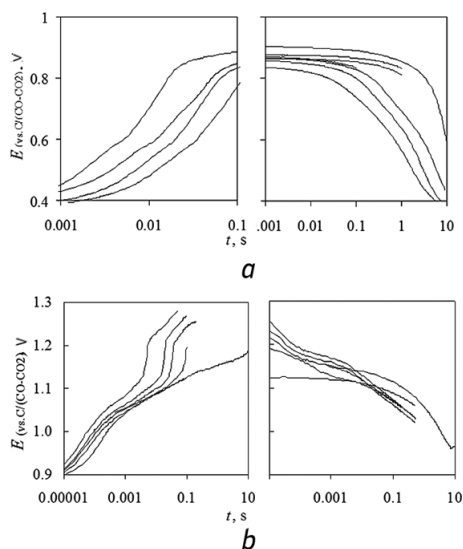


Fig. 1. Cut on and cut off curves of current on platinum in $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ melt at $780\text{ }^\circ\text{C}$ and current densities of $0.5\text{--}30\text{ mA/cm}^2$ (a) and $0.5\text{--}2.0\text{ A/cm}^2$ (b). Atmosphere is argon, the reference electrode is a carbon electrode

Analysis of curves of change in the platinum potential under current interruption points indicates a long period of term relaxation of the platinum potential as after the anode current density pulse of value of 30 mA/cm^2 ($30\text{--}35\text{ s}$), so after pulses of value of $0.5\text{--}2.0\text{ A/cm}^2$ ($10\text{--}15\text{ s}$).

Data from curves of change in the platinum potential for small (**1**, **2**) and high

Conclusion

Nonstationary anodic process on platinum in $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ melt at $750\text{--}780\text{ }^\circ\text{C}$ depending on the duration and magnitude of anode current density (from 0.5 mA/cm^2 to 2.0 A/cm^2) have been studied using chronopotentiometry method.

It is shown that when the anodic current densities are from 0.5 A/cm^2 the process under study is limited by diffusion of the electroactive particles to the

(**3**) anodic current density values were built in the coordinates $it^{1/2}$ to i (Fig. 2). Enhancement of $it^{1/2}$ (**1**) with increasing i for small values of anode current densities indicates the electrode process (platinum oxidation) followed by slow desorption of products [8], whereas at high anodic current densities constancy of $it^{1/2}$ value (**3**) is observed, which points at slow diffusion of electroactive particles to the electrode surface. The value of the diffusion coefficient of the electroactive particles for high anode current densities at $750\text{--}780\text{ }^\circ\text{C}$ estimated from the Sanda equation [8] amounted to $0.7\text{--}1.5 \times 10^{-5}\text{ cm}^2/\text{s}$.

The presence of the electrochemical oxidation of platinum is supported by the following:

- the estimated value of the electric double layer capacity (C_d) in the initial section of curves of change in the platinum potential (times to $\approx 5 \times 10^{-4}\text{ s}$) when the current is cut on according to expression $C_d = i / (d\eta/dt)$ [1] was $400\text{--}560\text{ uF/cm}^2$, which is characteristic of the formation of several oxide compound layers;
- dependence of $it^{3/2}$ on i (Fig.2, **2**) is linear at low current densities, that points at the growth of the oxide film resulting from the electrochemical process [7].

surface of the platinum anode, while at low current densities preceding stage is recorded.

Analysis of dependencies of $it^{1/2}$ on i from curves of changes of the potential platinum when anode current is cut on according to equations describing the slow diffusion of electroactive particles and the growth of the oxide film on the electrode surface indicates the electrochemical oxidation of platinum.

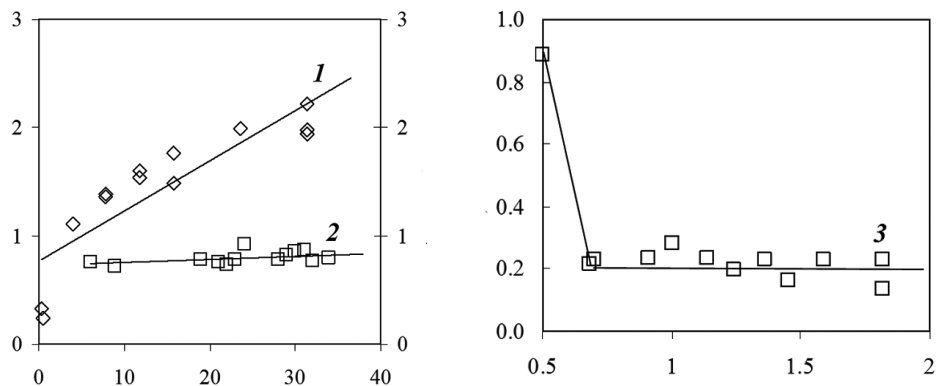


Fig. 2. Dependencies of $it^{1/2}$ and $it^{3/2}$ on i , built up from cut on curves on platinum for small (1, 2) and high (3) anode current densities

For high current densities values of the diffusion coefficient of electroactive particles to the platinum anode and the capacity of the electrical double layer were estimated, which amounted to, respectively, $0.7\text{--}1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ and $400\text{--}560 \text{ uF}/\text{cm}^2$.

The new obtained data can be used to specify the scheme of the process un-

der study and create a theoretical model enabling estimation of the effect of the parameters of the anodic process on platinum and other oxygen-releasing electrodes in $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ melt and other oxide-fluoride melts in a wide temperature range.

1. Nekrasov V. N., Suzdaltsev A. V., Limanovskaya O. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P. Theoretical and experimental study of anode process at the carbon in $\text{KF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ melts. *Electrochim. Acta.* 2012;75: 296.
2. Yang J., Hryn J. N., Davis B. R., Roy A., Krumdick G. K., Pomykala Jr. J. A. New opportunities for aluminum electrolysis with metal anodes in a low temperature electrolyte system. *Light Metals.* 2004;321.
3. Helle S., Pedron M., Assouli B., Davis B., Guay D., Roue L. Structure and high-temperature oxidation behaviour of Cu-Ni-Fe alloys prepared by high-energy ball milling for application as inert anodes in aluminium electrolysis. *Corrosion Science.* 2010;52: 3348. DOI: 10.1016/j.corsci.2010.06.011.
4. Nekrasov V. N., Limanovskaya O. V., Suzdaltsev A. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P. Stationary anodic process at platinum in $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ melts. *Rus. Metallurgy.* 2014;8: 664. DOI: 10.1134/S0036029514080084.
5. Suzdaltsev A. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P. Carbon electrode for electrochemical studies in electrolyte-alumina melts at $700\text{--}960 \text{ }^\circ\text{C}$. *Rus J Electrochemistry.* 2012;48: 1141. DOI: 10.1134/S1023193512120117.
6. Livingstone S. *Rhenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium and Platinum.* Pergamon, Oxford, 1975.

7. Dewing E. W., Van der Kouwe E. Anodic phenomena in cryolite-alumina melts. *Th. J. Electrochem. Soc.* 1977;124: 58.
8. Bard A. J., Faulkner L. R. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. 2nd ed. N.Y.: John Wiley & Sons Inc. 2001, 833 p.

А. В. Суздальцев¹, А. П. Храмов¹, Ю. П. Зайков^{1,2},
О. В. Лимановская^{1,2}, В. Н. Некрасов¹

¹Институт высокотемпературной
электрохимии УрО РАН,
620990, Екатеринбург, ул. Академическая, 20.

E-mail: suzdaltsev_av@mail.ru

²Уральский федеральный университет,
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: limanovskaya@yandex.ru

Хронопотенциометрия на платине в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ *

Методом хронопотенциометрии были исследованы некоторые особенности механизма анодного процесса на платине в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 750–780 °С в зависимости от анодной плотности тока (от 0,5 мА/см² до 2,0 А/см²) и длительности анодного импульса.

На кривых изменения потенциала платинового анода при включении тока фиксируется небольшой перегиб при плотностях тока 10–30 мА/см² и четкий перегиб при плотностях тока 0,5–2,0 А/см². Анализ зависимостей переходных времен от плотности тока указывает на то, что первый перегиб связан с образованием оксидного соединения на поверхности платины, а второй – с диффузионными затруднениями по доставке электроактивных частиц к ее поверхности.

Ключевые слова: Хронопотенциометрия, механизм анодного процесса, платиновый электрод, алюминий.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13–03–00829 А).

© Суздальцев А. В., Храмов А. П., Зайков Ю. П., Лимановская О. В., Некрасов В. Н., 2015

Введение

В настоящее время в мире ведутся исследования, направленные на разработку физико-химических основ технологии получения алюминия электролизом расплава $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 750–850 °С с использованием малорасходуемых анодов

[1–3]. Во избежание быстрой коррозии анодов необходимо подобрать как состав и способ их изготовления, так и оптимальные режимы электролиза. Последнее предполагает установление закономерностей кинетики выделения кислорода на аноде при помощи элект-

трохимических методов анализа. Экспериментальной моделью малорасходуемого анода может служить платина.

Ранее был проведен сравнительный анализ экспериментальных и модельных стационарных поляризационных кривых для платины в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 725–800 °С [4].

Было показано, что первичный перенос заряда с образованием адсорбированных частиц $\text{O}_{\text{адс}}$ на платине сопровождается их десорбцией по физическому или электрохимическо-

му механизму. Более полное описание особенностей механизма исследуемого процесса может быть достигнуто в результате применения комплекса электрохимических методов анализа, в том числе нестационарных.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию нестационарного анодного процесса на платине методом хронопотенциометрии в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 750–780 °С.

Эксперимент

Эксперименты проводили в алундовом тигле [4], который размещали в кварцевой ячейке, продуваемой аргоном или кислородом. Вспомогательный электрод из нихрома был размещен в пористой алундовой трубке, выполняющей роль диафрагмы. В качестве рабочего электрода использовали платину чистотой 99,9926 % (ОАО «РЗ ОЦМ»). Электродом сравнения служил газовый углеродный электрод [5] в равновесной смеси CO и CO_2 . Измерения проводили в расплаве (мас. %):

39,6KF-7,1NaF-47,3AlF₃-6,0Al₂O₃ при температуре 750–780 °С.

Хронопотенциограммы получали при анодных плотностях тока от 0,05 мА/см² до 2,0 А/см² с частотой дискретизации до 750 кГц, используя PGSTAT AutoLab 320N и ПО NOVA 1.10 (Eco Chemie, The Netherlands). Для расчета анодного перенапряжения при помощи процедуры «I-Interrupt» определяли омическое сопротивление участка поляризующей цепи, входящего в измерительную цепь.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены типичные кривые изменения потенциала платинового анода при включении и отключении анодного тока, полученные на платине в расплавах $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 750–780 °С. При малых плотностях тока (до ≈30 мА/см²) на кривых включения наблюдается перегиб. Увеличение анодной плотности тока с 0,5 до 30 мА/см² приводит к смещению потенциала перегиба с ≈ 0,44 до 0,58 В относительно углеродного электрода и уменьшению переходного времени с 1,1

до 0,005 с. На наш взгляд, процессом на данном участке может выступать электрохимическое окисление платины, сопровождаемое заполнением ее поверхности продуктом окисления. Несмотря на нестабильность оксидов платины при температурах выше 560 °С [6], электрохимическое образование оксида платины было отмечено в криолит-глиноземном расплаве при 1000 °С [7]. Диффузионный характер зависимости переходного времени от плотности тока при этом может быть

вызван ограничением доставки кислорода к платине через окисленный слой (или скоростью роста оксидной пленки).

Увеличение длительности анодных импульсов тока величиной до $\approx 30 \text{ mA/cm}^2$ (рис. 1, а) не приводит к появлению на кривой включения второго перегиба, связанного с диффузионными затруднениями по доставке электроактивного кислород-содержащего компонента Al-O-F из объема расплава в прианодный слой. Его проявление для исследуемой системы наблюдается при повышении величины анодной плотности тока от $0,5 \text{ A/cm}^2$ (рис. 1, б), при этом переходные времена составляют от 2 мс до 10–15 с.

Анализ кривых изменения потенциала платины при отключении тока указывает на длительную релаксацию потенциала платины как после импульса анодной плотности тока величиной 30 mA/cm^2 (до 30–35 с), так и после импульсов величиной $0,5\text{--}2,0 \text{ A/cm}^2$ (до 10–15 с).

Данные из кривых изменения потенциала платины для малых (1, 2) и высоких (3) значений анодной плотности тока были построены в координатах $it^{1/2}$ от i (рис. 2). Увеличение $it^{1/2}$ (1) при повышении i для малых значений анодных плотностей тока указывает на электродный процесс (окисление платины), сопровождаемый замедленной десорбцией продуктов [8], в то время как при высоких анодных плотностях наблюдается постоянство величины $it^{1/2}$ (3), которое указывает на замедленную диффузию электроактивных частиц к поверхности электрода. Оцененное из уравнения Санда [8] значе-

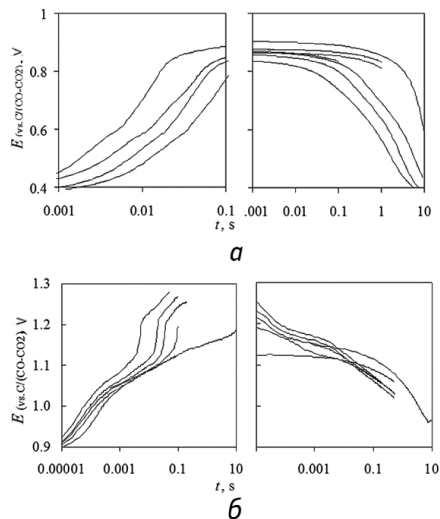


Рис. 1. Кривые включения и отключения тока на платине в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 780°C и плотностях тока $0,5\text{--}30 \text{ mA/cm}^2$ (а) и $0,5\text{--}2,0 \text{ A/cm}^2$ (б). Атмосфера – аргон, электрод сравнения – углеродный

ние коэффициента диффузии электроактивных частиц для высоких анодных плотностей тока при $750\text{--}780^\circ\text{C}$ составило $0,7\text{--}1,5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Наличие стадии электрохимического окисления платины подтверждается следующим:

- оцененное значение емкости двойного электрического слоя (C_d) на начальном участке кривых изменения потенциала платины (времена до $\approx 5 \times 10^{-4} \text{ s}$) при включении тока по выражению $C_d = i / (d\eta/dt)$ [1] составило $400\text{--}560 \text{ mF/cm}^2$, что характерно для образования нескольких слоев оксидного соединения;

- зависимость $it^{3/2}$ от i (рис. 2, 2) линейна при малых плотностях тока, что указывает на рост оксидной пленки в результате электрохимического процесса [7].

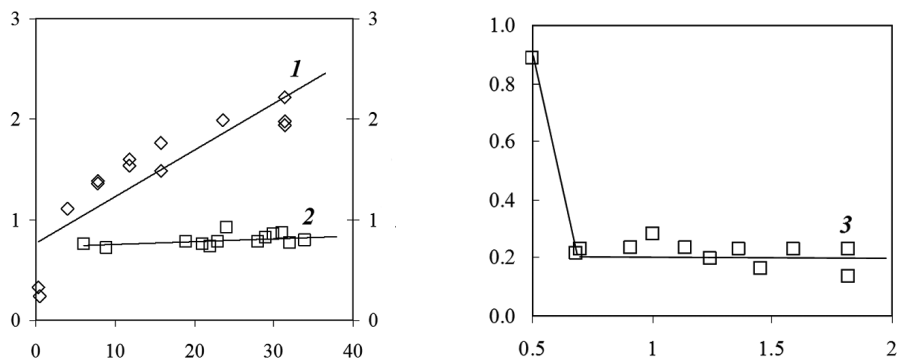


Рис. 2. Зависимости $it^{1/2}$ и $it^{3/2}$ от i , построенные из кривых включения на платине для малых (1, 2) и высоких (3) анодных плотностей тока

Заключение

Методами хронопотенциометрии исследован нестационарный анодный процесс на платине в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при $750\text{--}780\text{ }^\circ\text{C}$ в зависимости от длительности и величины анодной плотности тока (от $0,5\text{ mA/cm}^2$ до $2,0\text{ A/cm}^2$).

Показано, что при анодных плотностях тока от $0,5\text{ A/cm}^2$ исследуемый процесс лимитируется диффузией электроактивных частиц к поверхности платинового анода, в то время как при низких плотностях тока фиксируется предшествующая стадия.

Анализ зависимостей $it^{1/2}$ от i из кривых изменения потенциала платины при включении анодного тока по уравнениям, описывающим замедленную диффузию электроактивных частиц и рост оксидной пленки на

поверхности электрода, указывает на электрохимическое окисление платины.

Для высоких плотностей тока оценены значения коэффициента диффузии электроактивных частиц к платиновому аноду и емкость двойного электрического слоя, которые составили, соответственно, $0,7\text{--}1,5 \times 10^{-5}\text{ cm}^2/\text{c}$ и $400\text{--}560\text{ мкФ/cm}^2$.

Полученные новые данные могут быть использованы для уточнения схемы исследуемого процесса и создания теоретической модели, позволяющей оценивать влияние параметров анодного процесса на платине и других кислород-выделяющих электродах в расплаве $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ и других оксидно-фторидных расплавах в широком интервале температур.

1. Nekrasov V. N., Suzdaltsev A. V., Limanovskaya O. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P. *Electrochim. Acta*. 2012;75: 296.
2. Yang J., Hryn J. N., Davis B. R., Roy A., Krumdick G. K., Pomykala Jr. J. A. *Light Metals*. 2004, 321.
3. Helle S., Pedron M., Assouli B., Davis B., Guay D., Roue L. *Corrosion Science*, 2010, 52, 3348.

4. Nekrasov V. N., Limanovskaya O. V., Suzdaltsev A. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P. *Rus Metallurgy*. 2014;8: 664.
5. Suzdaltsev A. V., Khramov A. P., Zaikov Yu. P. *Rus J Electrochemistry*, 2012, 48, 1141.
6. Livingstone S. *Rhenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium and Platinum*. Pergamon, Oxford, 1975.
7. Dewing E. W., Van der Kouwe E. Th. *J. Electrochem. Soc.* 1977;124: 58.
8. Bard A. J., Faulkner L. R. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. 2nd ed. N.Y.: John Wiley & Sons Inc., 2001. 833 p.

E. A. Dolmatova, A. D. Dayanov, T. N. Ostanina

Ural Federal University, 28, Mira str.,

Ekaterinburg, Russia.

E-mail: arcfan@yandex.ru

Simulation of an electrolytic bath for electrodeposition of multilayer shielding coatings

In this the calculation work galvanic bath of Cu/(Ni+Cu) multilayer shielding coatings formation from an acetate electrolyte containing 0,03 mol/L of CuAc_2 , 0,3 mol/L of NiAc_2 and 1,66 mol/L of acetic acid were made. According to the results of polarization studies values of coatings deposition pulse mode current density have been chosen and current efficiency of copper and nickel during deposition of Cu-Ni alloy has been determined. To ensure a constant formulation of the electrolyte it has been proposed to use insoluble anodes made of stainless steel and continuous circulation of the electrolyte. The scheme of steams enabling the adjustment of the solution formulation with the use of an additional collecting vessel has been developed. The formulation of the correct-ing stream continuously fed into the collecting vessel has been calculated.

Key words: electrochemistry; simulation; cuprum acetate; nickel acetate; multilayer shielding coatings.

© Dolmatova E. A., Dayanov A. D., Ostanina T. N.. 2015

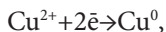
Introduction

Currently, there is an acute problem of protection devices and the environment from the effects of electromagnetic radiation. To ensure effective protection of the surface of plastics from which basic parts of devices are generally made, it is necessary to apply shielding coating. Multilayer coatings consisting of alternating layers of magnetic (e.g., nickel) and nonmagnetic (e.g., copper) metals are the most effective screens.

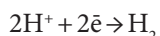
As shown by previous studies [1], copper filled composites consisting of an organic polymeric binder and a filler

of copper powder can be used to create a conductive basis for a plastic for subsequent deposition of metal coatings. Shielding coatings consisting of alternating layers of copper and nickel, can be obtained by the «single-bath» method [2] from the electrolyte containing cations of the two metals Cu^{2+} and Ni^{2+} . Conditions for preparing of individual layers are provided with a pulsed electrolysis, in which an alternation of pulses with different values of current takes place. During odd pulses ions of the most electroposi-

tive nonmagnetic metal (copper) are recovering



and during the even pulses ions of copper and nickel presented in the electrolyte are discharging to give a magnetic layer, and hydrogen gas is exhaling.



Experimental part

To select the parameters of the galvanic bath to be designed experimental studies were conducted.

Polarization measurements were carried out using a ZIVE SP5 electrochemical station with a linear change in the potential in the cell, connected by a three-electrode circuit.

The potential has been measured with respect to a silver chloride reference electrode.

When dotting the cathodic polarization curve (Fig. 1) the pin type working electrode made of copper wire with a diameter of 2 mm and a height of 10 mm has been used. The area on the curve corresponds to the limiting diffusion current of discharge of copper ions, and the subsequent rise of the current corresponds to recovery processes of nickel ions and hydrogen. According to the results of polarization studies current densities: for deposition of copper layer equals to 7 A/m² and a magnetic alloy Ni-Cu equals to 90 A/m² were selected.

The use of soluble anodes will lead to the enrichment of the electrolyte by nickel or copper ions, so it was proposed to use insoluble anodes made of stainless steel 12X18H10T. During polarization studies it was found that anodes made of steel are

The purpose of the present work consisted in simulation of a galvanic bath for forming multilayer shielding coatings.

For electrodeposition layered Cu/(Ni+Cu) coating acetate electrolyte of the following composition: 0.03 mol/L of CuAc₂, 0,3 mol/L of NiAc₂ and 1.66 mol/L of acetic acid [2] has been used. Monitoring of value pH = 4.7 has been periodically conducted.

passivated and not dissolved in the solution.

For technological calculations current efficiency of metal has a great significance. During odd pulses copper recovery with 100 % current efficiency occurs.

To determine the current efficiency of metals during deposition of the magnetic layer experiments on deposition of a Ni-Cu coating to sample of stainless steel pre-coated by a copper layer were conducted. At a current density of 90 A/m² current efficiency of Ni-Cu alloy was 70.6 %.

The resulting precipitate of alloy and the copper underlayer have been dissolved in concentrated nitric acid. The concentration of Ni²⁺ ions in the resulting solution has been determined by photometry allowing estimating the mass of nickel in the alloy. The analysis was

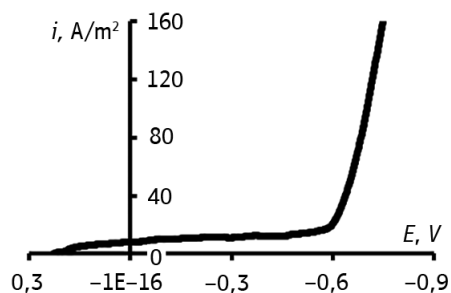


Fig. 1. Cathode polarization curve of the recovery of copper in acetate electrolyte

conducted by employees of the Department of Analytical Chemistry, CTI, UrFU. From the known weight of the precipitate alloy formulation was calculated as comprising 60 wt. % of Ni and 40 wt. % of Cu. The current efficiency of metals has been calculated taking into account proportion of the appropriate metal in the alloy

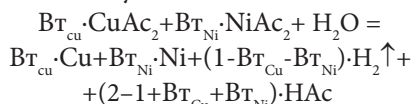
$$Bm_{Ni} = Bm_{alloy} \cdot \omega_{Ni} = 70 \cdot 0,6 = 42 \%, \\ Bm_{Cu} = Bm_{alloy} \cdot \omega_{Cu} = 70 \cdot 0,4 = 28 \%$$

Discussion of the calculations results

For the stable operation of the galvanic bath and preparing precipitates of high quality it is necessary to maintain the formulation of the electrolyte unchanged. In the projected bath it can be achieved by adjusting the formulation of continuous circulating flow at the inlet to the bath.

A scheme has been proposed (Fig. 2), which includes a collecting vessel intended for the organization of continuous circulation of the solution and adjusting its formulation. Electrolyte discharged from the bath is divided into two streams, one is directed to the collecting vessel ($\frac{1}{2}\vartheta_1$), and the second one is directed to neutralize acid excess ($\frac{1}{2}\vartheta_1$). Simultaneously, correcting stream (ϑ_{corr}) is fed to the collecting vessel, wherein the concentration of copper and nickel acetates is higher than in the bath. The effluent solution from the

The summarized reaction occurring during the even pulses based on the current efficiency looks as follows:



From the latter equation it follows that when using insoluble anodes in the electrolysis process a reduction in the concentration of copper and nickel acetates in a solution will be observed, and the concentration of acetic acid will increase.

collecting vessel is fed into a galvanic bath (ϑ'_1). Furthermore, during the process calculations speed of pseudocontinuous streams (ϑ'_1 and ϑ_2), which are solutions transferred on details, was considered.

As the result of the calculation of the stationary mass balance of the galvanic bath it was found that for stable operation it is necessary that the electrolyte is fed to the bath, wherein the acetic acid concentration ($C'_{HAc} = 1,48$ mol/L) is below, and the concentrations of copper acetate ($C'_{HAc2} = 0,033$ mol/L) and nickel acetate ($C'_{HAc2} = 0,304$ mol/L) is higher than in the bath. In view of water evaporation rate defined was a volume rate of effluent stream from which then stream feeding to the collecting vessel is formed. While calculating the different values of intensities of components sources in periods of even and odd pulses were taken into account.

The correcting stream is needed to maintain in the collecting vessel a constant formulation of the solution corresponding by components concentrations to a stream directed to the bath of multilayer coating deposition.

Simulation of the stationary mass balance of the collecting vessel has allowed

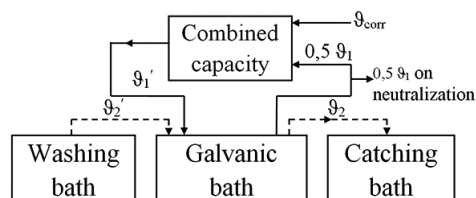


Fig. 2. Correcting streams in the technological scheme of multilayer coating deposition

determining the rate of the correcting stream and its formulation:

$$\vartheta_{cor} = \vartheta_1' - \frac{\vartheta_2}{2},$$
$$C_{cor,i} = \frac{\vartheta_1' \cdot C_{1i}' - \vartheta_1 / 2 \cdot C_{1i}}{\vartheta_{cor}}.$$

Conclusion

During the experimental studies the parameters of pulse mode of multilayer coating deposition, and current efficiency of copper and nickel have been determined.

For preparing layered Cu/Cu-Ni coatings by the single-bath method it has been proposed to use a continuous flow bath with insoluble anodes. The possibility of

The calculation has showed that the solution containing 1.45 mol/L of acetic acid, 0.037 mol/L of copper acetate and 0.307 mol/L of nickel acetate should be continuously added at a rate equal to $\vartheta_{cor} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ to the collecting vessel.

using stainless steel as an insoluble anode in an acetate electrolyte has been shown.

Using the method of mathematical modeling of mass balances of galvanic baths and the collecting vessel the formulation of the circulating stream incoming to the bath as well as the speed and formulation of the correcting stream incoming to the collecting vessel have been determined.

1. Rudoi V.M. , Ostanina T.N., Darintseva A.B., Ostanin N.I., Alikhanova I.A., Demakov S.L., et al. Electrodeposition of copper on metal-filled composite support. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2010; 46(6):702–706. DOI: 10.1134/S1023193510060157.
2. Ovchinnikova S. N., Poddubnyi N. P., Masliy A. I., Boldyrev V. V. Schwazacher W. Mutual influence of electrode processes during electrodeposition of layered structures by the single-bath method: The effect of nickel deposition and hydrogen evolution on the transport of copper ions in acetate and sulfamate electrolytes. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2002; 38(11):1210–1206. DOI: 10.1023/A:1021153827310.

Е. А. Долматова, А. Д. Даянов, Т. Н. Останина

Уральский федеральный университет

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 28.

E-mail: arcfan@yandex.ru

Моделирование электролитической ванны нанесения многослойных экранирующих покрытий

В работе проведен расчет гальванической ванны формирования многослойных экранирующих покрытий $\text{Cu}/(\text{Ni}+\text{Cu})$ из ацетатного электролита, содержащего 0,03 моль/л CuAc_2 , 0,3 моль/л NiAc_2 и 1,66 моль/л уксусной кислоты. По результатам поляризационных исследований выбраны значения плотностей тока импульсного режима нанесения покрытий и определен выход по току меди и никеля в период осаждения сплава Cu-Ni . Для обеспечения постоянного состава электролита предложено использовать нерастворимые аноды из нержавеющей стали и непрерывную циркуляцию электролита. Разработана схема потоков, позволяющая проводить корректировку состава раствора с использованием дополнительной сборной емкости. Рассчитан состав корректирующего потока, непрерывно подаваемого в сборную емкость.

Ключевые слова: электрохимия, моделирование, ацетат меди, ацетат никеля, гальваническая ванна.

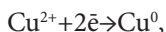
© Долматова Е. А., Даянов А. Д., Останина Т. Н., 2015

Введение

В настоящее время остро стоит проблема защиты приборов и окружающей среды от воздействия электромагнитных излучений. Для обеспечения эффективной защиты на поверхность пластмассы, из которой, как правило, выполнены корпусные детали приборов, необходимо наносить экранирующие покрытия. Наиболее эффективными экранами являются полислойные покрытия, состоящие из чередующихся слоев магнитного (например, никель) и немагнитного (например, медь) металлов.

Как показали проведенные ранее исследования, медьнаполненные композиты, состоящие из органического полимерного связующего и наполнителя медного порошка, можно использовать для создания электропроводной основы на пластмассе с целью последующего нанесения металлических покрытий [1]. Экранирующие покрытия, состоящие из чередующихся слоев меди и никеля, можно получать методом «одной ванны» из электролита, содержащего катионы двух металлов Cu^{2+} и Ni^{2+} [2]. Условия для получения

индивидуальных слоев обеспечиваются импульсным электролизом, в ходе которого происходит чередование импульсов с разными значениями тока. Во время нечетных импульсов восстанавливаются ионы наиболее электроположительного немагнитного металла (медь)



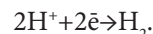
а во время четных импульсов разряжаются присутствующие в электролите ионы меди и никеля, давая магнитный слой, и выделяется газообразный водород.

Экспериментальная часть

Для выбора параметров работы проектируемой гальванической ванны были проведены экспериментальные исследования.

Поляризационные измерения проводили с помощью электрохимической станции ZIVE SP5 при линейном изменении потенциала в ячейке, подключенной по трехэлектродной схеме. Потенциал измеряли относительно хлоридсеребряного электрода сравнения.

При съеме катодной поляризационной кривой (рис. 1) использовали рабочий электрод штырькового типа, изготовленный из медной проволоки диаметром 2 мм и высотой 10 мм. Площадь на кривой соответствует предельному диффузионному току разряда ионов меди, а последующий подъем тока – процессам восстановления ионов никеля и водорода. По результатам поляризационных исследований были выбраны плотности тока: для осаждения слоя меди 7 A/m^2 и магнитного сплава Ni-Cu – 90 A/m^2 .



Цель настоящей работы состояла в моделировании гальванической ванны формирования многослойных экранирующих покрытий.

Для электроосаждения слоистых покрытий Cu/(Ni+Cu) использовали ацетатный электролит следующего состава: 0,03 моль/л CuAc_2 , 0,3 моль/л NiAc_2 и 1,66 моль/л уксусной кислоты [2]. Периодически проводили контроль величины $\rho_{\text{H}} = 4,7$.

Использование растворимых анодов приведет к обогащению электролита по ионам никеля или меди, поэтому было предложено использовать нерастворимые аноды из нержавеющей стали марки 12X18H10T. В ходе поляризационных исследований было установлено, что аноды из стали в данном растворе пассивируются и не растворяются.

Для проведения технологических расчетов большое значение имеет выход по току металла. Во время нечетных импульсов происходит восстановление меди с выходом по току 100 %.

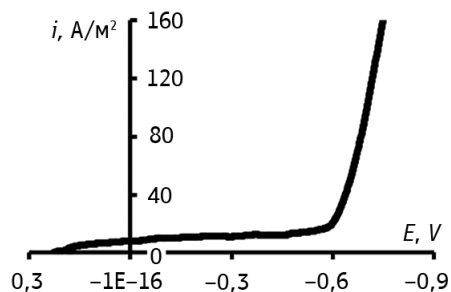


Рис. 1. Катодная поляризационная кривая восстановления меди в ацетатном электролите

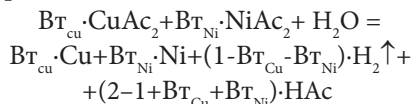
Для определения выхода по току металлов при осаждении магнитного слоя были проведены эксперименты по осаждению покрытия Ni-Cu на образец из нержавеющей стали, предварительно покрытый слоем меди. При плотности тока 90 А/м² выход по току сплава Ni-Cu составил 70,6 %.

Полученный осадок сплава и подслоем меди растворяли в концентрированной азотной кислоте. Концентрацию ионов Ni²⁺ в полученном растворе определяли методом фотометрии, что позволило оценить массу никеля в сплаве. Анализ проведен сотрудниками кафедры аналитической химии ХТИ УрФУ. По известной массе осадка рассчитали состав сплава: 60 мас.% Ni и 40 мас.% Cu. Выход по току металлов

считали с учетом доли соответствующего металла в сплаве

$$Bm_{Ni} = Bm_{alloy} \cdot \omega_{Ni} = 70 \cdot 0,6 = 42 \%, \\ Bm_{Cu} = Bm_{alloy} \cdot \omega_{Cu} = 70 \cdot 0,4 = 28 \%$$

Суммарная реакция, протекающая в период четных импульсов, с учетом выходов по току выглядит следующим образом:



Из последнего уравнения следует, что при использовании нерастворимых анодов в процессе электролиза будет наблюдаться уменьшение концентрации ацетатов меди и никеля в растворе, а концентрация уксусной кислоты будет возрастать.

Обсуждение результатов расчетов

Для стабильной работы гальванической ванны и получения осадков высокого качества необходимо поддерживать неизменным состав электролита. В проектируемой ванне этого можно добиться, регулируя состав непрерывного циркуляционного потока на входе в ванну.

Была предложена схема (рис. 2), в которую входит сборная емкость, предназначенная для организации непрерывной циркуляции раствора и корректировки его состава. Электролит,

выходящий из ванны, делится на два потока: один направляется в сборную емкость ($\frac{1}{2}\vartheta_1$), а второй – на нейтрализацию избытка кислоты ($\frac{1}{2}\vartheta_1$). Одновременно в сборную емкость подается корректировочный поток ($\vartheta_{корр}$), в котором концентрация ацетатов меди и никеля выше, чем в ванне. Выходящий из сборной емкости раствор подается в гальваническую ванну (ϑ_1). Кроме того, при проведении технологических расчетов учитывали скорость псевдопрерывных потоков (ϑ_1 и ϑ_2), которые представляют собой растворы, переносимые на деталях.

В результате расчета стационарного материального баланса гальванической ванны было установлено, что для стабильной работы необходимо, чтобы в ванну поступал электролит, в котором концентрация уксусной кислоты ($C'_{HAc} = 1,48$ моль/л) ниже, а концентрации



Рис. 2. Корректирующие потоки в технологической схеме нанесения многослойных покрытий

ацетата меди ($C'_{\text{HAc}_2} = 0,033$ моль/л) и ацетата никеля ($C'_{\text{HAc}_2} = 0,304$ моль/л) выше, чем в ванне. С учетом интенсивности испарения воды определена объемная скорость выходящего потока, из которого затем формируется поток, поступающий в сборную емкость. При расчете учитывали разные значения интенсивностей источников компонентов в периоды четных и нечетных импульсов.

Корректировочный поток необходим для обеспечения постоянного состава раствора в сборной емкости, соответствующего по концентрациям компонентов потоку, направляемому

в ванну нанесения полислоистого покрытия.

Моделирование стационарного материального баланса сборной емкости позволило определить скорость корректировочного потока и его состав:

$$\vartheta_{\text{корр}} = \vartheta_1 - \frac{\vartheta_2}{2},$$
$$C_{\text{корр},i} = \frac{\vartheta_1 \cdot C_{i1} - \vartheta_1 / 2 \cdot C_{i2}}{\vartheta_{\text{корр}}}.$$

Расчет показал, что в сборную емкость необходимо непрерывно добавлять со скоростью $\vartheta_{\text{корр}} = 5,0 \cdot 10^{-6}$ м³/с раствор, содержащий 1,45 моль/л уксусной кислоты, 0,037 моль/л ацетата меди и 0,307 моль/л ацетата никеля.

Заключение

В ходе экспериментальных исследований определены параметры импульсного режима нанесения многослойных покрытий и выходы по току меди и никеля.

Для получения слоистых покрытий Cu/Cu-Ni методом одной ванны предложено использовать проточную ванну с нерастворимыми анодами. Показана возможность использования нержавеющей стали в качестве нерастворимого анода в ацетатном электролите.

С помощью метода математического моделирования материальных балансов гальванической ванны и сборной емкости определены состав входящего циркуляционного потока в ванну, а также скорость и состав корректирующего потока в сборную емкость.

1. Rudoi V. M., Ostanina T. N., Darintseva A. B., Ostanin N. I., Alikhanova I. A., Demakov S. L., et al. Electrodeposition of copper on metal-filled composite support. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2010; 46(6):702–706. DOI: 10.1134/S1023193510060157.
2. Ovchinnikova S. N., Poddubnyi N. P., Masliy A. I., Boldyrev V. V., Schwazacher W. Mutual influence of electrode processes during electrodeposition of layered structures by the single-bath method: The effect of nickel deposition and hydrogen evolution on the transport of copper ions in acetate and sulfamate electrolytes. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2002; 38(11):1210–1206. DOI: 10.1023/A:1021153827310.

V. S. Nikitin, T. N. Ostanina,
V. M. Rudoy, A. S. Farlenkov

Ural Federal University, 19, Mira str.,
Ekaterinburg, Russia,
E-mail: nikitin-viachieslav@mail.ru

Dynamics of electrocrystallization of dendritic zinc deposits in galvanostatic and potentiostatic modes

In the work the dynamics of growth of zinc dendritic deposits in the galvanostatic and potentiostatic modes from an electrolyte containing 0.3 mol/L of ZnO, and 4 mol/L of NaOH has been studied. It has been shown that in galvanostatic conditions decrease in the elongation rate of dendrites and change in the deposit structure from dendritic to compact accompanied by increasing density and decreasing through-thickness porosity are observed. In potentiostatic conditions dendrites grow at a constant rate and the structure of the deposit varies little. The results have been confirmed by electron microscopic studies of morphology of zinc particles.

Key Words: electrocrystallization; zinc; dendritic, electrochemistry.

© Nikitin V. S., Ostanina T. N., Rudoy V. M., Farlenkov A. S., 2015

Introduction

The electrolytic zinc deposits possess unique dendritic structure and high purity, and powders derived from them are used in various technical fields (manufacture of batteries and zinc-rich composite materials). The structural properties of these deposits produced by electrolysis of aqueous solutions undergo changes after removal from the electrode, but the morphology of the particles, which is laid at the stage of electrolysis, remains unchanged after processing operations of the future powder [1]. In this connection, to obtain electrolytic powders with desired properties it is necessary to know

how the deposition modes affect structural properties (density, porosity, surface area, etc.) of the deposit directly during its formation *in situ* [2]. By varying the conditions of electrodeposition (mode, preset current or potential, concentration of discharging ions, surfactant additives) it is possible to produce powders of various structure.

The aim of the present work is to study the dynamics of the electrocrystallisation process and the properties of dendritic zinc deposits in conditions of setting direct current and constant potential.

Experimental technique

To study the dynamics of dendritic zinc deposits an installation allowing simultaneous registering the change in potential (or current), video recording deposit growth and fixing the amount of hydrogen released has been used. A 1 cm high pin cathode made of zinc wire with a diameter of 2 mm has been brought to a center of a cylindrical cell. On the edge of the cell a ring zinc anode has been disposed. Polarization measurements were performed using Solartron potentiostat 1280C. The potential has been measured in respect to the zinc reference electrode. The deposits have been prepared from zincate electrolyte containing 0.3 mol/L of ZnO, and 4 mol/L of NaOH, when setting direct current and constant potential. Polarizing current has exceeded

the value of the limiting diffusion current in 6 times. When using potentiostatic conditions a constant overvoltage equal to -0.38 V has been maintained, this corresponded to the level of diffusion limitations galvanostatic electrolysis. Analysis of video record of the deposit growth process has allowed to establish the dependence of the thickness of the dendritic deposit layer from time and to calculate the overall deposit volume. According to volumetric measurements current efficiency of zinc and hydrogen has been determined, that has allowed calculating the mass change of the deposit in the electrodeposition process. Microstructural studies of deposits have been carried out on Mira 3 LMU scanning electron microscope in IHTE laboratory of UB of the RAS.

Results and discussions

Under galvanostatic conditions due to the high current density the rate of ad-atoms formation is high. Delivery of discharging ions to surfaces with small radii (irregularities and crystallites) is facilitated due to the realization of mechanism of the spherical diffusion, so the discharge of zinc ions occurs mainly on high points, and then on tops of dendrites branches. There is a lengthening of existing and originating of new branches. Due to formation of plurality of branches the surface on which the discharge of metal ions takes place increases, and the current density decreases. At that the rate of dendrites elongation over time (Fig. 1) and the absolute value of the overvoltage (Fig. 2, curve 1) is gradually reduced. After recession of diffusion limitations mechanism of the process changes, particles on the deposits outer surface thicken. After 35 minutes of electrolysis the rate of dendrite growth falls distinctly, and the

absolute value of the overvoltage reaches a constant value (Fig. 2, curve 1).

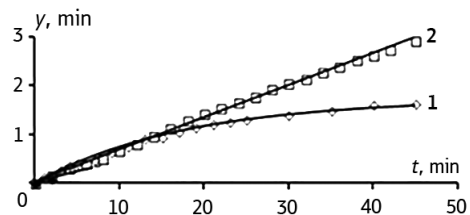


Fig. 1. Change the length of zinc dendrites in time in galvanostatic (1) and potentiostatic (2) modes

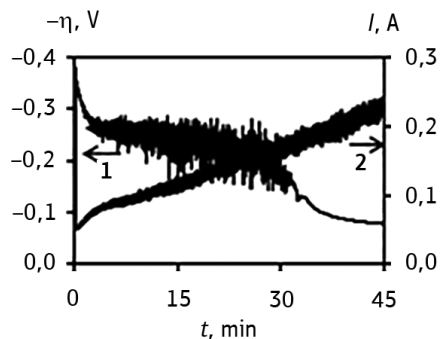


Fig. 2. Change the overvoltage and current in time in galvanostatic (1) and potentiostatic (2) modes

When setting a constant overvoltage throughout the electrolysis maintained a high level of difficulties in delivery of discharging ions. The development of the active surface, on which an electrochemical process is realized, leads to an increase in the amperage in the electrolysis process (Fig. 2, curve 2). As a result, dendrites elongate at a higher and insufficiently time-varying rate in comparison to the electrodeposition at the constant current (Fig. 1).

Differential current output of zinc, which characterizes the ratio of metal and hydrogen recovery processes rates, grows during the electrolysis process in galvanostatic conditions (Fig. 3), that is associated with an increase in the deposit surface and a decrease in the true current density. At the moment of the overvoltage recession and achieving limiting diffusion current density hydrogen ceases to release and the current efficiency tends to unity. Under the conditions of setting the permanent potential the current efficiency changes insufficiently over time and does not exceed 93 % (Fig. 3).

As parameters characterizing the structure of the deposit differential density $d\rho_{oc}$ and differential porosity deposit $d\beta$ have been defined, which were calculated from a change in the metal mass and the overall deposit volume for a fixed period of time. Differential characteristics allow evaluating a change of relevant structural properties of dendrites during the deposition.

As seen in Fig. 4, the deposits have a low density. When setting direct current integrated density of the deposit increases as the recession of active growth of dendrites, and in a constant potential mode it slightly decreases in time. However, the integral den-

sity value is an averaged characteristic, so it is less informative.

Differential density allows evaluating change of structural properties of dendrites during the deposition process. According to the thickness of the deposits obtained under potentiostatic conditions, the density changes little (Fig. 5, curve 2), that indicates a uniform structure of the particles. While during electrodeposition of dendrites under galvanostatic conditions, the density increases gradually, and then increases dramatically (Fig. 5, curve 1), that is associated with the intergrowth of separate dendrites branches and a shell formation.

Resulting deposits have high porosity (Fig. 6), which decreases under galvanostatic conditions with cessation of active growth of dendrites (Fig. 6, curve 1) and does not change at a constant potential (Fig. 6, curve 2).

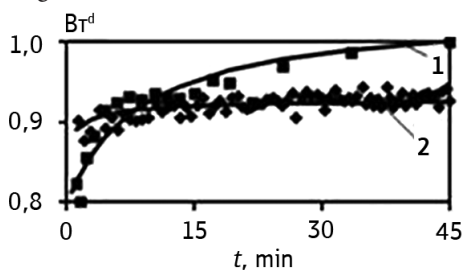


Fig. 3. Change the differential current output in galvanostatic (1) and potentiostatic (2) modes

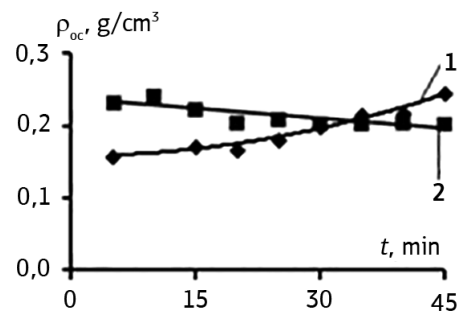


Fig. 4. Change the integral density in time in galvanostatic (1) and potentiostatic (2) modes

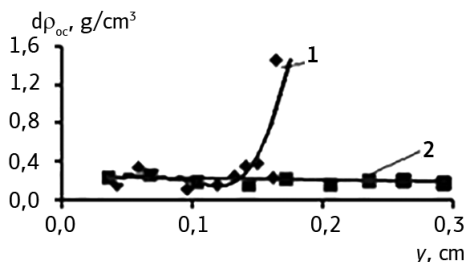


Fig. 5. Change the density over the thickness of dendritic zinc deposits in galvanostatic (1) and potentiostatic (2) modes

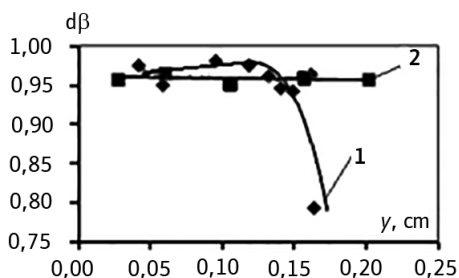
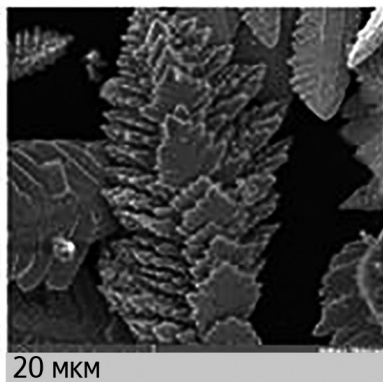


Fig. 6. Change the porosity over the thickness of dendritic zinc deposits in galvanostatic (1) and potentiostatic (2) modes

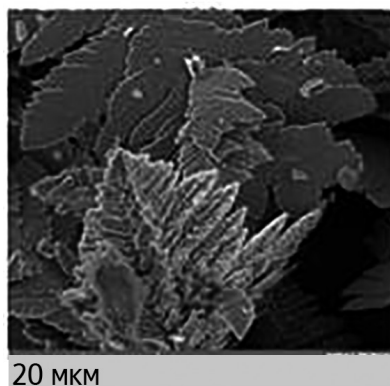
The studies of morphology of dendritic deposits particles have been conducted using a scanning electron microscope. It is seen in micrographs with a resolution of 20 microns that at the initial stage of electrolysis (10 minutes) the size of certain particles (top radius) slightly differs in deposits obtained in the studied modes

Conclusion

The dynamics of growth of dendritic electrolytic zinc deposits essentially depends on the polarization mode. In galvanostatic conditions there are observed a gradual decrease in the rate of elongation of dendrites and change in the deposit structure from dendritic to



a



b

Fig. 7. Micrographs of dendritic zinc deposits obtained in galvanostatic (a) and potentiostatic (b) modes.

(Fig. 7 a, b). The particles are similar both in size and shape resembling fern leaves.

compact: density increases and porosity reduces. Whereas in potentiostatic mode dendrites grow at a constant rate, and the loose deposit throughout the thickness has a uniform structure. The study results have been confirmed by deposits micrographs.

1. Neikov O.D., Nabojchenko S.S., Murashova I.B., Gopienko V.G., Frishberg I.V., Lotsko D.V. Handbook of Non-Ferrous Metal Powders. Elsevier Ltd. Amsterdam, The Netherlands, 2009. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781856174220>
2. Patrushev A.V., Ostanina T.N., Rudoy V.M. Electrochemical methods for the determination of surface area of dendritic deposits. Proceedings of Phisycal chemistry and electrochemistry of molten and solid electrolytes: materials of XVI Russian conference. Ekaterinburg, 2013.

В. С. Никитин, Т. Н. Останина,
В. М. Рудой, А. С. Фарленков

Уральский федеральный университет
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19.
E-mail: nikitin-viacheslav@mail.ru

Динамика электрокристаллизации дендритных осадков цинка в гальваностатическом и потенциостатическом режимах

В работе исследована динамика роста дендритных осадков цинка в гальваностатическом и потенциостатическом режимах из электролита, содержащего 0,3 моль/л ZnO и 4 моль/л $NaOH$. Показано, что в гальваностатических условиях наблюдается снижение скорости удлинения дендритов и изменение структуры осадка с дендритной на компактную, сопровождающееся ростом плотности и уменьшением пористости по толщине. В потенциостатических режимах дендриты растут с постоянной скоростью и структура осадка мало меняется. Полученные результаты подтверждены электронно-микроскопическими исследованиями морфологии частиц цинка.

Ключевые слова: электрокристаллизация, цинк, дендриты, электрохимия.

© Никитин В. С., Останина Т. Н., Рудой В. М., Фарленков А. С., 2015

Введение

Электролитические осадки цинка обладают уникальной дендритной структурой и высокой чистотой, а порошки, получаемые из них, используют в самых различных отраслях техники (производство аккумуляторов и цинкнаполненных композиционных материалов). Структурные свойства таких осадков, получаемых электролизом водных растворов, претерпевают изменения после снятия с электрода, но морфология частиц, которая закладывается на стадии электролиза, остается неизменной после операций по обработке будущего по-

рошка [1]. В связи с этим для получения электролитических порошков с заданными свойствами необходимо знать, как влияют режимы осаждения на структурные свойства (плотность, пористость, удельную поверхность и т. д.) осадка непосредственно в процессе его формирования *in situ* [2]. Варьируя условия электроосаждения (режим, задаваемый ток или потенциал, концентрацию разряжающихся ионов, добавки ПАВ), можно получать порошки с разнообразной структурой.

Целью настоящей работы является исследование динамики процес-

са электрокристаллизации и свойств дендритных осадков цинка в условиях

задания постоянного тока и постоянного потенциала.

Методика эксперимента

Для изучения динамики развития дендритных осадков цинка была использована установка, позволяющая одновременно регистрировать изменение потенциала (или тока), проводить видеозапись роста осадка и фиксировать объем выделяющегося водорода. В центр цилиндрической ячейки подводился штырьковый катод высотой 1 см, изготовленный из цинковой проволоки диаметром 2 мм. По краю ячейки располагали кольцевой цинковый анод. Поляризационные измерения проводили с помощью потенциостата Solartron 1280 С. Потенциал измеряли относительно цинкового электрода сравнения. Осадки получали из цинкатного электролита, содержащего 0,3 моль/л ZnO и 4 моль/л NaOH, при задании постоянного тока и постоянного потенциала. Поляризующий ток

в шесть раз превышал величину предельного диффузионного тока. При использовании потенциостатических условий поддерживали постоянное перенапряжение $-0,38$ В, которое соответствовало уровню диффузионных ограничений гальваностатического электролиза. Анализ видеозаписи процесса роста осадка позволил установить зависимость толщины слоя дендритного осадка от времени и рассчитать габаритный объем осадка. По данным волюмометрических измерений определяли выход по току водорода и цинка, что позволило рассчитать изменение массы осадка в процессе электроосаждения. Микроструктурные исследования осадков проводили на растровом электронном микроскопе Mira 3 LMU в лаборатории ИВТЭ УрО РАН.

Результаты и обсуждение

В гальваностатических условиях вследствие высокой плотности тока скорость образования ад-атомов высока. Доставка разряжающихся ионов к поверхностям малого радиуса (неровностям и кристаллитам) облегчена вследствие реализации механизма сферической диффузии, поэтому заряд ионов цинка преимущественно протекает на выступах, а затем на вершинах ветвей дендритов. Происходит удлинение существующих и зарождение новых ветвей. Вследствие образования множества ветвей поверхность, на которой протекает заряд ионов металла, увеличивается, а плотность

тока снижается. При этом скорость удлинения дендритов во времени (рис. 1) и абсолютная величина перенапряжения (рис. 2, кривая 1) постепенно уменьшаются. После спада диффузионных ограничений меняется механизм процесса, частицы на внешней поверхности осадка утолщаются. После 35 мин электролиза скорость роста дендритов резко падает, а абсолютная величина перенапряжения выходит на постоянное значение (рис. 2, кривая 1).

При задании постоянного перенапряжения в течение всего электролиза сохраняется высокий уровень затруднений по доставке разряжающихся ио-

нов. Развитие активной поверхности, на которой реализуется электрохимический процесс, приводит к увеличению силы тока в процессе электролиза (рис. 2, кривая 2). В результате дендриты удлиняются с более высокой и мало меняющейся во времени скоростью, по сравнению с электроосаждением на постоянном токе (рис. 1).

Дифференциальный выход по току цинка, характеризующий соотношение скоростей процессов восстановления металла и водорода, растет в процессе электролиза в гальваностатических условиях (рис. 3), что связано с увеличением поверхности осадка и снижением истинной плотности тока. В момент спада перенапряжения и достижения предельной диффузионной плотности тока водород перестает выделяться, и выход по току стремится к единице. В условиях задания постоянного потенциала выход по току мало изменяется во времени и не превышает 93 % (рис. 3).

В качестве параметров, характеризующих структуру осадка, определяли дифференциальную плотность $d\rho_{oc}$ и дифференциальную пористость осадка $d\beta$, которые рассчитывали по изменению массы металла и габаритного объема осадка за фиксированный промежуток времени. Дифференциальные характеристики позволяют оценить изменение соответствующих структурных свойств дендритов в процессе осаждения.

Как видно на рис. 4, осадки обладают малой плотностью. При задании постоянного тока интегральная плотность осадка растет по мере спада активного роста дендритов, а в режиме постоянного потенциала она незна-

чительно уменьшается со временем. Однако величина интегральной плотности является усредненной характеристикой, поэтому она малоинформативна.

Дифференциальная плотность позволяет оценить изменение структурных свойств дендритов в процессе осаждения. По толщине осадков, полу-

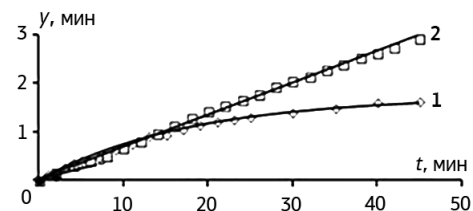


Рис. 1. Изменение длины дендритов цинка во времени при гальваностатическом (1) и потенциостатическом (2) режимах

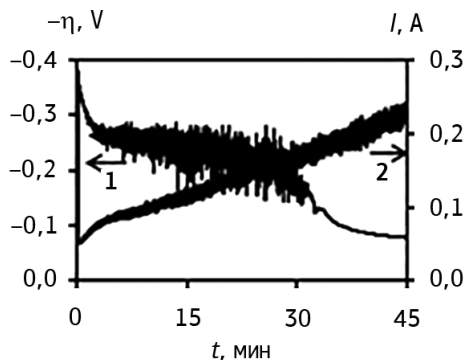


Рис. 2. Изменение перенапряжения и силы тока во времени при гальваностатическом (1) и потенциостатическом (2) режимах

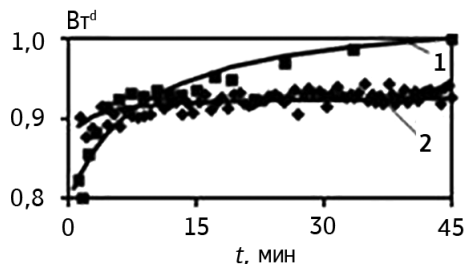


Рис. 3. Изменение дифференциального выхода по току при гальваностатическом (1) и потенциостатическом (2) режимах

ченных в потенциостатических условиях, плотность мало меняется (рис. 5, кривая 2), что свидетельствует об однородной структуре частиц. Тогда как при электроосаждении дендритов в гальваностатических условиях плот-

ность постепенно увеличивается, а затем резко возрастает (рис. 5, кривая 1), что связано со срастанием отдельных ветвей дендритов и образованием скорлупы.

Полученные осадки обладают высокой пористостью (рис. 6), которая уменьшается в гальваностатических условиях по мере прекращения активного роста дендритов (рис. 6, кривая 1)

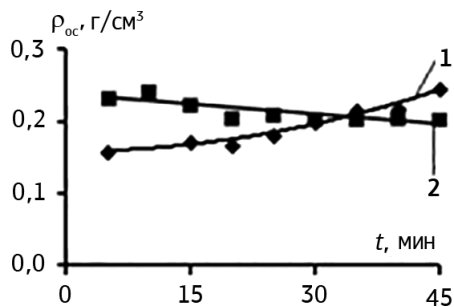


Рис. 4. Изменение интегральной плотности во времени при гальваностатическом (1) и потенциостатическом (2) режимах

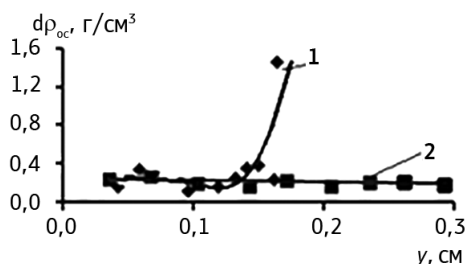


Рис. 5. Изменение плотности по толщине дендритных осадков цинка при гальваностатическом (1) и потенциостатическом (2) режимах

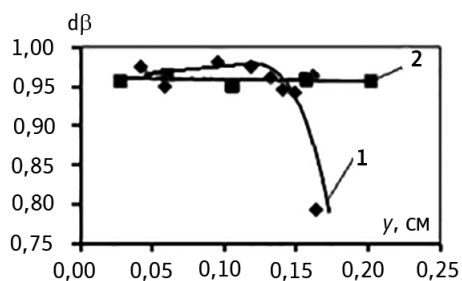
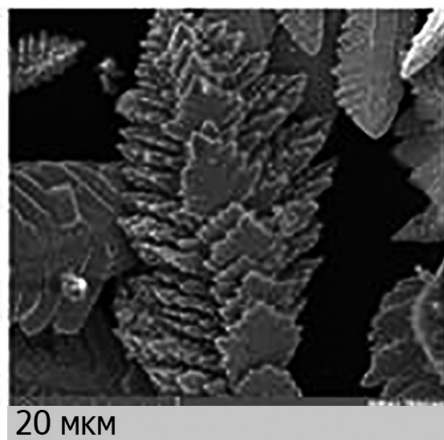
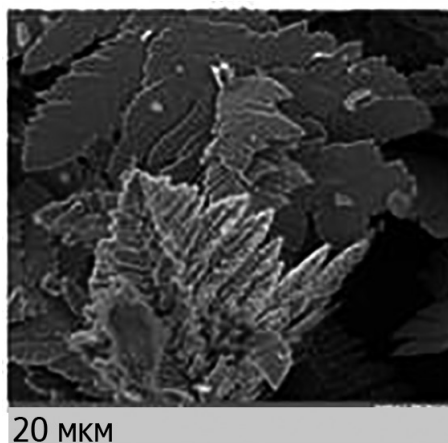


Рис. 6. Изменение пористости по толщине дендритных осадков цинка при гальваностатическом (1) и потенциостатическом (2) режимах



a



б

Рис. 7. Микрофотографии цинковых дендритных осадков, полученных в гальваностатическом (а) и потенциостатическом (б) режимах. Время получения осадков 10 мин

и практически не меняется при постоянном потенциале (рис. 6, кривая 2).

Исследования морфологии частиц дендритных осадков были проведены с помощью растрового электронного микроскопа. На микрофотографиях с разрешающей способностью 20 мкм

видно, что на начальном этапе электролиза (10 мин.) размер отдельных частиц (радиус вершины) мало отличается у осадков, полученных в исследуемых режимах (рис. 7, а, б). Частицы похожи как по размеру, так и по форме, напоминающей листья папоротника.

Заключение

Динамика роста дендритных электролитических осадков цинка существенно зависит от режима поляризации. В гальваностатических условиях наблюдается постепенное снижение скорости удлинения дендритов и изменение структуры осадка с дендритной на компактную: возрастает плот-

ность и снижается пористость. Тогда как в потенциостатическом режиме дендриты растут с постоянной скоростью, а рыхлый осадок по всей толщине имеет однородную структуру. Результаты исследований подтверждены микрофотографиями осадков.

1. *Neikov O. D., Nabojchenko S. S., Murashova I. B., Gopienko V. G., Frishberg I. V., Lotsko D. V.* Handbook of non-ferrous metal powders. Technologies and applications. Elsevier, London, N-Y, Amsterdam, 2009. 634 pp.
2. *Patrushev A. V., Ostanina T. N., Rudoy V. M.* Electrochemical methods for the determination of surface area of dendritic deposits, Physical chemistry and electrochemistry of molten and solid electrolytes: materials of XVI Russian conference. Publishing house of the Ural University, Ekaterinburg, 2013.

O. V. Kylosova, A. B. Ilbuldina, O. V. Yaroslavtseva

Ural Federal University, 19 Mira street, 620002

Ekaterinburg

E-mail: o.v.yaroslavceva@urfu.ru

Study of instantaneous rate of corrosion of aluminum in media with different acidity

Instantaneous rate of aluminum corrosion in media with different acidity has been studied using a method of polarization and the electrical resistance. A resulting time series of instantaneous corrosion rate have been analyzed using the standardized range. As a result, it has been found that in all studied media corrosion process has a stochastic character, and time series of instantaneous rate are anti-persistent.

Key words: electrochemistry, corrosion, aluminum.

© Kylosova O. V., Ilbuldina A. B., Yaroslavtseva O. V., 2015

Introduction

From the viewpoint of observation of the development of corrosion process of greater interest is the differential characteristic of the rate of corrosion, so-called instantaneous rate of corrosion [1].

Since the corrosion process on the metal surface is likely to develop very unevenly, so fixing the instantaneous values of the corrosion rate one can be trace the alternation of its activation followed by

temporary decay, which could again be replaced by reactivation. Observations of such changes in instantaneous rate at the initial stage of the corrosion process development can be used as the basis for the development of long-term corrosion forecast model. Therefore the choice of methodology of instantaneous corrosion rate research is actual.

Experimental part

As an object of the study aluminum wire (Al not less than 99.6–99.7 % (wt.)) has been used.

The instantaneous rate of corrosion of aluminum has been studied in three solutions: H_2SO_4 , Na_2SO_4 and NaOH, a pH of which was 0.78, 5.71 and 11.11 respectively. The instantaneous rate of corrosion has been evaluated by two methods: po-

larization and electrical resistances. Measurement of polarization resistance and recording polarization curves have been performed in a standard electrochemical cell with divided cathode and anode spaces using Solartron 1280 C test station. A measurement design is shown in Fig. 1.

A program of measurement of the polarization resistance has included

300 cycles, which consisted of measuring the currentless potential for 10 seconds, followed by potential sweep from -15 to $+15$ mV relative to the stationary potential, sweep rate is 3 mV/s. Polarization curves for determining Tafel coefficients have been recorded by polarization from the cathode region to the anode one at linear potential sweep of 3 mV/s.

Results and Discussion

A typical curve of the time dependence of the experimental polarization resistance of the aluminum sample is shown in Fig. 3.

According to experimental data of the polarization resistance (R_p) values of instantaneous corrosion rate in current units (i_{korr} , A/cm²) have been calculated by the Stern-Geary equation [2]:

$$i_{korr} = \frac{b_a \cdot b_k}{2,3 \cdot (b_a + b_k) \cdot R_p}, \quad (1)$$

wherein b_a and b_k are the Tafel slopes of the anodic and cathodic processes.

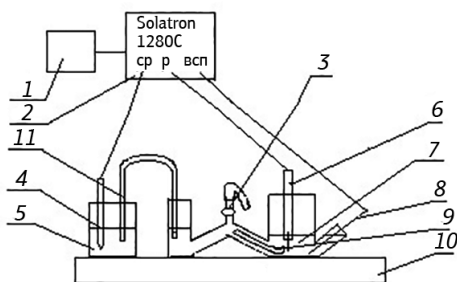


Fig. 1. Apparatus for polarization measurements: 1 – computer; 2 – electrochemical station; 3–3-way stopcock; 4 – silver chloride reference electrode; 5 – saturated solution of KCl; 6 – working electrode; 7 – working solution; 8 – platinum auxiliary electrode; 9 – Haber-Luggin capillary; 10 – support for the cell; 11 – salt bridge

Measurement of electrical resistance has been carried out by means of high-resistance voltmeter. A measurement design is shown in Fig. 2. The time interval between measurements was 30 seconds, in each solution up to 300 measurements have been performed.

In all solutions under study oscillations have presented on the time dependence of the instantaneous corrosion rate. The presence of oscillations proves that the corrosion process has a stochastic character. The amplitude of oscillations and the general trend of change of polarization resistance suggest the following features of the corrosion process:

- in a neutral salt solution dissolving aluminum occurs in pores existing on the surface of the oxide film;
- in sulfuric acid solution the initial more or less active dissolution is replaced by the reduction of the oxide film, and the dissolution process slows down and localizes in pores of the oxide film;

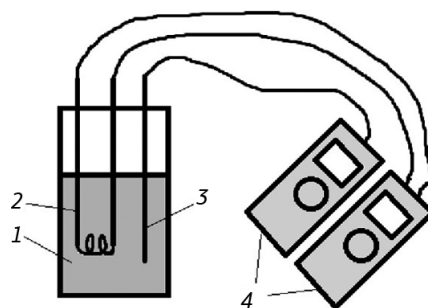


Fig. 2. The electric resistance measuring circuit 1 – glass with the test solution, 2 – sample (in the form of wire spiral), 3 – thermocouple, 4 – high-resistance voltmeters

– in alkali medium dissolution of aluminum observed in cracks of fast-growing aluminate film.

Experimental curves of the change in time of the aluminum sample electrical resistance also had characteristic oscillations in all studied media (Fig. 4).

The instantaneous rate of corrosion (V , $\mu\text{m/s}$) can be calculated from the dependence of the electrical resistance on the radius of the wire sample [3]:

$$V = -\frac{\partial r}{\partial t} = \left(\frac{\rho \cdot l}{4\pi}\right)^{1/2} \cdot R(t)^{-3/2} \cdot \frac{\partial R}{\partial t}, \quad (2)$$

wherein r is the radius of aluminum wire; ρ is the electrical resistivity of aluminum; l is the length of aluminum wire; $R(t)$ is the resistance value at time t .

The resulting time dependencies of the corrosion rate have oscillations regardless of the composition of the corrosive solution. This indicates that despite the significantly different values of the electric resistance and oscillation amplitude in

different solutions the stochastic character of dissolution maintains.

In order to identify the character (random or fractal) the time series have been processed by the method of Hurst. The method involves the standardization of data to zero, mean and standard deviation. The calculated values of the Hurst exponent for the time series of polarization and electrical resistances in the studied media (Table 1) are in the range from 0 to 0.5. Accordingly, all of the analyzed experimental time series are anti-persistent, so observed at the initial time moment the growth of corrosion rate subsequently may give place to a decrease.

Table 1

The Hurst exponent for the time series of polarization and electrical resistance

Time series	Solution		
	H ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	NaOH
Polarization resistance	0.42 ± 0.21	0.27 ± 0.13	0.27 ± 0.08
Electrical resistance	0.29 ± 0.02	0.29 ± 0.05	0.33 ± 0.04

Conclusion

1. Studies of electrochemical behavior of aluminum by electrical and polarization resistance in solutions with different pH have been carried out.

2. On the basis of the obtained time dependencies of the instantaneous corrosion rate it was confirmed that the process of corrosion on the surface of

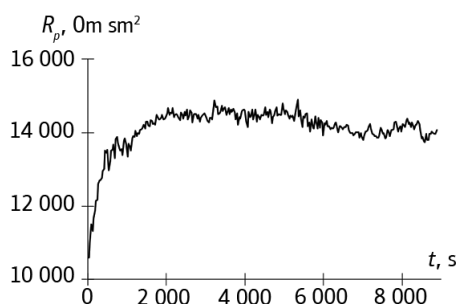


Fig. 3. The polarization resistance of the aluminum sample in sodium sulfate solution

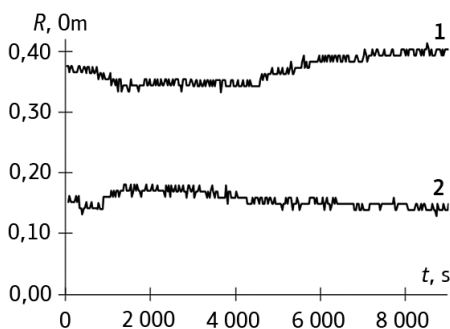


Fig. 4. The electric resistance of the aluminum sample:

1 – in sulfuric acid; 2 – in alkali medium

the aluminum sample develops non-monotonically: oscillations presented on graphs suggest the stochastic character of the process.

3. When processing time series of polarization and electrical resistance it was revealed that the corrosion process on the aluminum surface has anti-persistent character regardless of the presence of the passive film.

The results of the measurement of the polarization resistance data have confirmed known data on aluminum corrosion resistance in media with different pH, more specifically:

- destruction of the passive film and intensive dissolution in alkaline solution;
- passivation of the oxide film in a neutral solution;
- reduction by the present in the solution oxygen of the oxide film dissolving upon contact with an acidic solution.

5. The analysis of experimental data has revealed that the corrosion rate determination by the electric resistance is possible in case of active dissolution of the metal in a corrosive medium, for example aluminum in an alkaline medium. In the presence of the growing passive film this method is not applicable.

1. Gerasimov V. V. *Corrosion of aluminum and its alloys*. M., Metallurgiya, 1988. 113 pp.
2. Zhuk N. P. *A Course of the Theory of Corrosion and Protection of Metals*. M., Metallurgiya, 1976. 472 pp.
3. Peters E. *Fractal analysis of financial markets: the application of chaos theory to investment and economics*. M., Internet Trading, 2004. 304 pp.

О. В. Кылосова, А. Б. Илбулдина,
О. В. Ярославцева

Уральский федеральный университет
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 28.
E-mail: o.v.yaroslavceva@urfu.ru

Исследование мгновенной скорости алюминия в средах с разной кислотностью

Методом поляризационного и электрического сопротивления исследована мгновенная скорость коррозии алюминия в средах с различной кислотностью. Полученные временные ряды мгновенной скорости коррозии проанализированы методом нормированного размаха. В результате установлено, что во всех исследованных средах процесс коррозии имеет стохастический характер, причем временные ряды мгновенной скорости антиперсистентны.

Ключевые слова: электрохимия, коррозия, алюминий.

© Кылосова О. В., Илбулдина А. Б., Ярославцева О. В., 2015

Введение

С точки зрения наблюдения за развитием коррозионного процесса, больший интерес представляет дифференциальная характеристика скорости коррозии, так называемая мгновенная скорость коррозии [1].

Поскольку коррозионный процесс на металлической поверхности, скорее всего, развивается крайне неравномерно, то фиксируя мгновенные значения скорости коррозии, можно проследить чередование его активации с по-

следующим временным затуханием, которое вновь может сменяться реактивацией. Наблюдения за подобными изменениями мгновенной скорости на начальном этапе развития коррозионного процесса могут быть положены в основу при разработке долгосрочной прогнозной модели коррозии. Поэтому актуальным является выбор методологии исследования мгновенной скорости коррозии.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали алюминиевую проволоку (Al не менее 99,6–99,7 %(масс.)).

Мгновенную скорость коррозии алюминия изучали в трех растворах: H_2SO_4 , Na_2SO_4 и NaOH, pH которых составляла 0,78, 5,71 и 11,11 соответ-

ственно. Мгновенную скорость коррозии оценивали двумя методами: поляризационного и электрического сопротивлений. Измерение поляризационного сопротивления и снятие поляризационных кривых осуществляли в стандартной электрохимической ячейке с разделенными катодным и анодным пространствами при помощи измерительной станции Solartron 1280С. Схема измерения представлена на рис. 1.

Программа измерения поляризационного сопротивления включала 300 циклов, которые состояли из измерения бестокового потенциала в течение 10 с, с последующей разверткой потенциала от -15 до $+15$ мВ относительно стационарного потенциала, скорость развертки 3 мВ/с. Поляризационные кривые для определения коэффициентов Тафеля снимали поляризацией из катодной области в анодную при линейной развертке потенциала 3 мВ/с.

Измерение электрического сопротивления осуществляли при помощи высокоомного вольтметра. Схема установки приведена на рис. 2. Временной интервал между измерениями составлял 30 с, в каждом растворе осуществляли по 300 измерений.

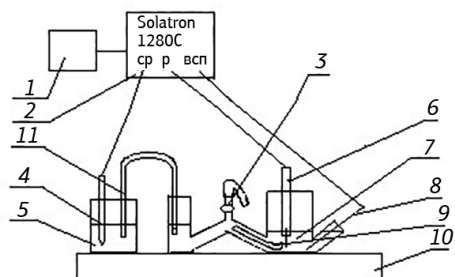


Рис. 1. Схема установки для поляризационных измерений:

- 1 – компьютер; 2 – электрохимическая станция; 3–3-ходовой краник;
- 4 – хлоридсеребряный электрод сравнения; 5 – насыщенный раствор KCl;
- 6 – рабочий электрод; 7 – рабочий раствор;
- 8 – платиновый вспомогательный электрод; 9 – капилляр Гебера – Луггина;
- 10 – подставка под ячейку;
- 11 – электролитический ключ

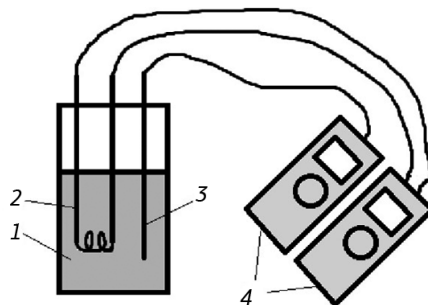


Рис. 2. Схема измерения электрического сопротивления: 1 – стакан с исследуемым раствором, 2 – исследуемый образец (в виде спирали из проволоки), 3 – термopара, 4 – высокоомные вольтметры

Результаты и их обсуждение

Типичная кривая временной зависимости экспериментального поляризационного сопротивления алюминиевого образца приведена на рис. 3.

По экспериментальным данным поляризационного сопротивления (R_p) были рассчитаны значения мгновенной

скорости коррозии в токовых единицах ($i_{корр}$, А/см²) по уравнению Штерна – Гири [2]:

$$i_{корр} = \frac{b_a \cdot b_k}{2,3 \cdot (b_a + b_k) \cdot R_p}, \quad (1)$$

где b_a и b_k – тафелевские наклоны анодного и катодного процессов.

Во всех исследуемых растворах на временной зависимости мгновенной скорости коррозии присутствовали колебания. Наличие колебаний свидетельствует о том, что коррозионный процесс имеет стохастический характер. Амплитуда колебаний и общий тренд изменения поляризационного сопротивления позволяют предположить следующие особенности коррозионного процесса:

- в нейтральном растворе соли растворение алюминия происходит в порах имеющейся на поверхности оксидной пленки;

- в растворе серной кислоты первоначальное более или менее активное растворение сменяется восстановлением оксидной пленки, и процесс растворения замедляется и локализуется в порах оксидной пленки;

- в щелочи наблюдается растворение алюминия в трещинах быстрораствущей пленки алюмината.

Экспериментальные кривые изменения во времени электрического сопротивления алюминиевого образца также имели характерные колебания во всех исследованных средах (рис. 4).

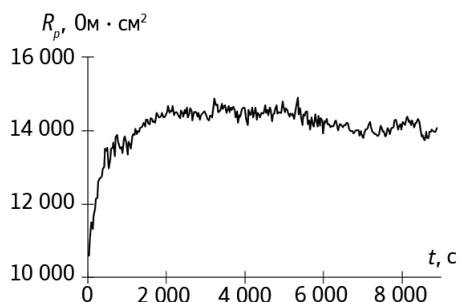


Рис. 3. Поляризационное сопротивление алюминиевого образца в растворе сульфата натрия

Мгновенная скорость коррозии (V , мкм/с) может быть рассчитана исходя из зависимости электрического сопротивления от радиуса проволочного образца [3]:

$$V = -\frac{\partial r}{\partial t} = \left(\frac{\rho \cdot l}{4\pi}\right)^{1/2} \cdot R(t)^{-3/2} \cdot \frac{\partial R}{\partial t}, \quad (2)$$

где r – радиус алюминиевой проволоки; ρ – удельное электрическое сопротивление алюминия; l – длина алюминиевой проволоки; $R(t)$ – значение сопротивления в момент времени t .

Полученные временные зависимости скорости коррозии имеют колебания вне зависимости от состава коррозионного раствора. Это свидетельствует о том, что, несмотря на значительно отличающиеся значения электрического сопротивления и амплитуды колебаний, в разных растворах стохастический характер растворения сохраняется.

С целью выявления характера (случайный или фрактальный) временные ряды были обработаны по методике Херста. Метод предполагает нормирование данных к нулевому, среднему и стандартному отклонению. Рассчитанные значения показателя Херста для временных рядов поляризацион-

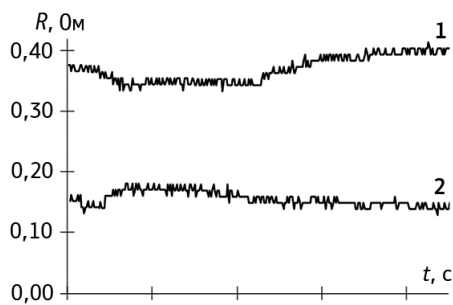


Рис. 4. Электрическое сопротивление алюминиевого образца: 1 – в серной кислоте; 2 – в щелочи

ного и электрического сопротивлений в исследуемых средах (табл. 1) лежат в интервале от 0 до 0,5. Соответственно, все проанализированные экспериментальные временные ряды антиперсистентны, то есть наблюдаемый в начальный момент времени рост скорости коррозии в дальнейшем может смениться уменьшением.

Выводы

1. Проведены исследования электрохимического поведения алюминия методами электрического и поляризационного сопротивления в растворах с разным рН.

2. На основании полученных временных зависимостей мгновенной скорости коррозии подтверждено, что процесс коррозии на поверхности алюминиевого образца развивается немонотонно: имеющиеся на графиках колебания свидетельствуют о стохастическом характере процесса.

3. При обработке временных рядов поляризационного и электрического сопротивлений выявлено, что коррозионный процесс на поверхности алюминия имеет антиперсистентный характер вне зависимости от наличия пассивной пленки.

Результатами измерения поляризационного сопротивления подтвержде-

Таблица 1
Показатель Херста временных рядов поляризационного и электрического сопротивления

Временной ряд	Solution		
	H ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	NaOH
Поляризационное сопротивление	0,42 ± 0,21	0,27 ± 0,13	0,27 ± 0,08
Электрическое сопротивление	0,29 ± 0,02	0,29 ± 0,05	0,33 ± 0,04

ны известные данные о коррозионной стойкости алюминия в средах с различным рН, а именно:

- разрушение пассивной пленки и интенсивное растворение в щелочном растворе;
- пассивация оксидной пленкой в нейтральном растворе;
- восстановление присутствующим в растворе кислородом, оксидной пленки, растворяющейся при контакте с кислым раствором.

5. В ходе анализа экспериментальных данных установлено, что определение скорости коррозии методом электрического сопротивления возможно в случае активного растворения металла в коррозионной среде, как например алюминий в щелочной среде. При наличии растущей пассивной пленкой этот метод не применим.

1. Герасимов В. В. Коррозия алюминия и его сплавов. М. : Металлургия, 1988. 113 с.
2. Жук Н. Р. Курс теории коррозии и защиты металлов. М. : Металлургия, 1976. 472 с.
3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в экономике / пер. с англ. М.: Интернет-Трейдинг, 2004. 304 с.

A. G. Titov, Z. R. Gil'vanova, E. A. Shevchenko,
M. K. Masnaviev, A. A. Bir

*Ural Federal University
28 Mira Street, 620002, Ekaterinburg.
E-mail: paht@yandex.ru*

Quantitative assessment of reentrainment in the electrocyclone*

The paper was devoted to the investigation of the reentrainment which was a parasitic effect incipient at the gas-cleaning systems – cyclones. It was demonstrated that the reentrainment arises at the speed of the aerosol from 14 to 27 m/sec. The quantitative characteristics of the reentrainment were determined.

Key words: the investigation of the reentrainment; cyclones; gas-cleaning systems; irrigation receiving electrode.

•The research project has been supported by Russian Foundation for Basic Research (grant 14–08–00046a).

© Titov A. G., Gil'vanova Z. R., Shevchenko E. A., Masnaviev M. K., Bir A. A., 2015

Introduction

The dust materials suppression at the chemical factories is the actual task [1]. The problem of the fine purification of the large gas volume from the disperse particles was existed. At present the applied multileaf lamellar electrostatic filters are too expensive, bulky and don't ensure the required high purification efficiency to 99.5–97 %. The wet gas cleaning at the emulsifiers troubles the utilization of the product since its release from the pulp and the following drying is requested. The large heat costs are necessary for this. Also the task of the elaboration of the high-performance equipment for the cleaning of the large gas volumes (hundred of thousands m³/hour) with the receipt of the product in the dry form is actual [2].

The reentrainment by the dust collecting is the parasitic fact. It depends on the material dispersion, the gas stream speed, the electrode voltage, the design philosophy of the materials and other. The identification of the efficiency dependence of the work of the electrocyclones from mentioned factors represents the scientific and practical interest [3].

Early it was shown [4] experimentally that the gas purification efficiency decreases at the aerosol increasing speed above 15–17 m/sec on the entrance to the electrocyclone. The centrifugal force is increasing at the increasing of the gas speed in the active zone that favors to the precipitation of the particles but at the constant length of the machine the time of the aerosol stay is decreasing, the effi-

ciency of the charging of the particles is down, the ash Ola increases. It's result of that the particles don't have time to settle on the receiving electrode. The reentrain-

ment is increasing because the already settled particles especially small knocked out of the sediment layer of large particles and turbulent eddies.

Experiment part

You want to exclude one of the factors to assess the degree of influence of the residence time of the gas flow in apparatus factor and the reentrainment on the decrease in the efficiency of particle collection in the electrocyclone. To exclude secondary reentrainment is necessary to irrigate the receiving electrode by film of water (wet mode). Then the particles that touched the water film will not be able to go back into the gas stream, and will be permanently removed from the active zone. Experiments were conducted in dry and wet mode of operation of the electrocyclone.

For research was used an laboratory experimental setup (stand), shown in fig. 1. The stand included the electrocyclone 1, palpatation 2, tranporter TNZh 3, the high voltage source (model IVNR-20-10) 4, a U-shaped tube to determine the hydraulic resistance of the electrocyclone 5, the filter bag 6, inlet pipe to the collector 7, valves 8, rotameters 9, the pressure gauge 10,

the filter holder (type IRA-20-2) 11, the sampling tube 12.

The test material was supplied by palpatation 2 in a disaggregated form on the inlet pipe 7 into the electrocyclone 1. Caught ash was collected in the hopper of the electrocyclone 1, and the purified air in the duct was removed through the bag filter 6 into the atmosphere.

For experiments with irrigation described above, the electrocyclone was supplemented with irrigation system and removal of the pulp (fig. 2).

For irrigation receiving electrode of the electrocyclone 1 used located in the cochlea of the irrigation system, consisting of a distribution of ring 2 and the feed tube 3. The slurry from the hopper 4 is removed through the seal 5 in Montego 6. The uniform irrigation of the wall at the translational-rotational motion of the gas was achieved when water flow was 8 l/min.

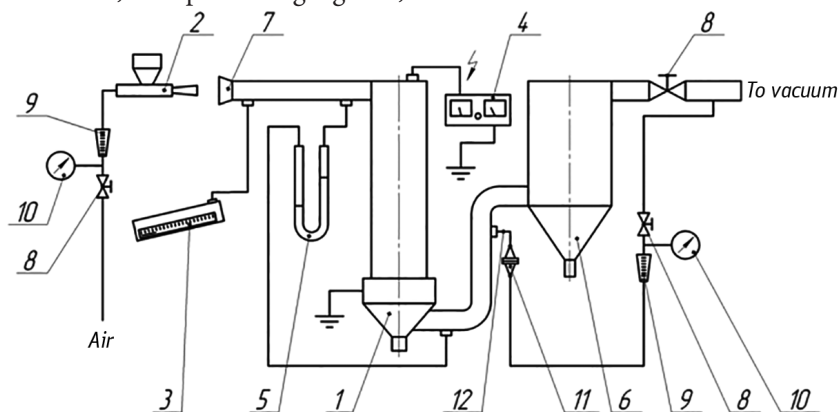


Fig. 1. Scheme of the experimental setup

Results and Discussion

In the experiments on the capture of ash in the wet mode the reentrainment has been completely eliminated, however, the observed incomplete capture of ash, which can be explained by nagasarete particles and active turbulent mixing flow.

The amount of ablation can imagine $(1 - n) \cdot 100\%$ what allowed us to estimate the values of ablation in terms of purity. The dependence of entrainment speed at a fixed concentration of ash 16.5 g/m^3 are shown in fig. 3.

From figure 3 it is seen that in wet mode at $U = 17 \text{ kV}$ (electrocyclone mode) carryover is less than 1 %, lowering the voltage to $U = 0 \text{ kV}$ (cyclone mode) ash reaches 5–7 %, whereas the ash in dry mode, when $U = 17 \text{ kV}$ matter 12–25 %.

According to the experiment were also calculated values of the secondary ash as the difference between the degree of cleaning in wet and dry mode for corresponding points of the plan. The dependence of secondary reentrainment from the input speed and concentration of ash is shown in fig. 4.

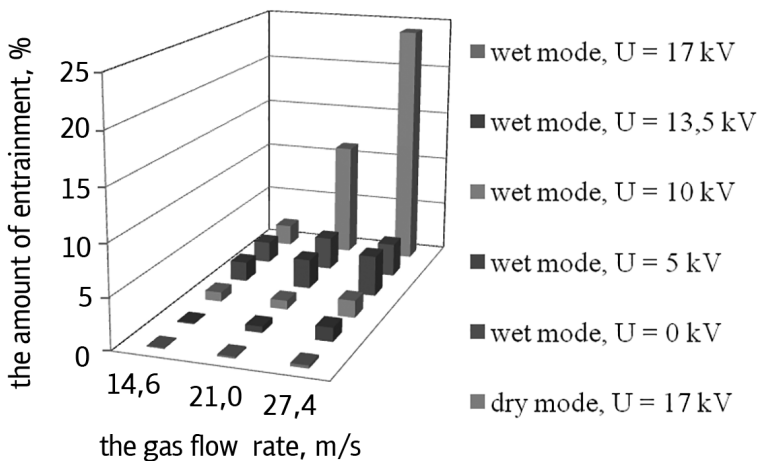


Fig. 3. The dependence of the amount of entrainment from the gas flow rate at different operating conditions of the electrocyclone

From Fig. 4 shows that reentrainment varies in the interval from 5 to 35 %, the highest values are observed at gas velocities of more than 21 m/sec. The average value of the secondary ash is 10–15 %, which is significantly higher than the entrainment caused by necessarily. Thus, reentrainment reduces the efficiency of ash

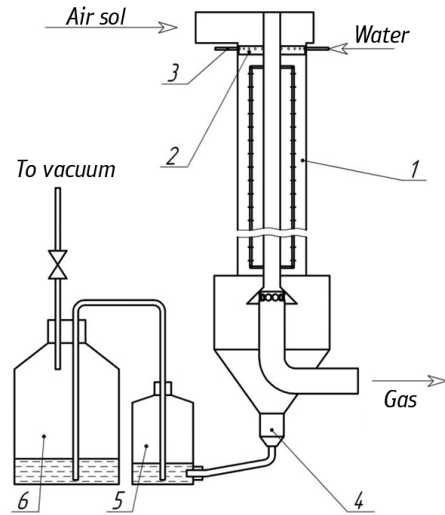


Fig. 2. Diagram of the cyclone to work in wet mode. Indicate in the figure: 1 – electrocyclone, 2 – distribution ring, 3 – feed tube, 4 – bunker, 5 – seal 6 – Montagu

in the electrocyclone at 5–35 % at velocities of aerosol 14.6–27.4 m/sec, respectively, by increasing the ablation is 10–50 times.

Conclusions

The reentrainment is observed in the electrocyclone at a critical velocity of the aerosol at the inlet over 14–16 m/sec, which depends on the concentration and properties of the dust.

The reentrainment is almost completely eliminated by irrigation receiving electrode film of water. The degree of purification is above 95 % without applying a voltage to the corona electrode and above 99 % at a supply voltage of 17 kV to the corona electrode.

Due to a secondary ablation of the degree of purification is reduced by 5–30 %.

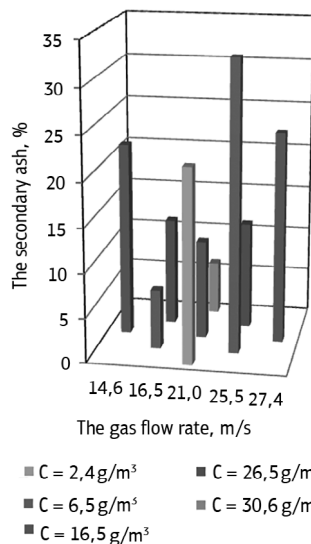


Fig. 4. The dependence of secondary ash at various initial concentrations of ash in the gas stream in the dry mode of operation of the cyclone from the gas flow rate at different operating conditions of the electrocyclone

1. Lim K. S., Kim H. S., Lee K. W. Comparative performances of conventional cyclones and a double cyclone with and without an electric field. *J. of Aerosol Sciences*. 2004, 35(1): 103–116. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2003.07.001
2. Tsai R., Mills A. F. A model of particle re-entrainment in electrostatic precipitators. *J. of Aerosol Science*. 1995, 26(2): 227–239. DOI: 10.1016/0021-8502(94)00102-5.
3. Xiangrong Z., Lianze W., Keqin Z. A simple criterion for particle-wall adhesion in a wire-plate electrostatic precipitator. *J. of Aerosol Sciences*. 2005, 36(3): 411–417. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2004.09.008.
4. Titov A. G., Gil'vanova Z. R., Inyushkin N. V., Ermakov S. A., Shchelchikov I. P., Aitova A. I., Man'kov M. G., Tokareva N. A., Perfilov S. A. Efficiency of Electrostatic Cyclone Operation. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014, 49(9–10): 655–659. Doi:10.1007/s10556-014-9814-0.

А. Г. Титов, З. Р. Гильванова,
Е. А. Шевченко, М. К. Маснавиев, А. А. Бир

Уральский федеральный университет
620002 Екатеринбург, ул. Мира, 28.
E-mail: paht@yandex.ru

Количественная оценка вторичного уноса в электроциклоне*

Статья посвящена исследованию вторичного уноса – паразитного явления, возникающего в газоочистных устройствах, – электроциклонах. Показано, что вторичный унос возникает при скоростях аэрозоля от 14 до 27 м/с. Определены количественные характеристики вторичного уноса.

Ключевые слова: исследование вторичного уноса, электроциклон, газоочистные устройства, орошение осадительного электрода.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14–08–00046а.

© Титов А. Г., Гильванова З. Р., Шевченко Е. А., Маснавиев М. К., Бир А. А., 2015

Введение

Улавливание пылевидных материалов на химических предприятиях является актуальной задачей [1]. Существует проблема тонкой очистки больших объемов газов от дисперсных частиц. Применяемые в настоящее время многопольные пластинчатые электрофильтры сравнительно дороги, громоздки и не обеспечивают требуемую высокую степень очистки 99,5–99,7 %. Мокрая очистка газов в эмульгаторах затрудняет утилизацию продукта, т. к. требуется его выделение из пульпы и последующая сушка. Для этого требуются большие затраты тепла. Также актуальна задача разработки высокоэффективного оборудования для очистки больших объемов

газов (сотни тыс. м³/ч) с получением продукта в сухом виде [2].

Вторичный унос при пылеулавливании – паразитное явление. Он зависит от дисперсности материала, скорости потока газа, напряжения на электродах, конструктивных особенностей аппаратов и др. Представляет научный и практический интерес выявление зависимости эффективности работы электроциклона от указанных факторов [3].

Ранее экспериментально было показано [4], что степень очистки газа снижается при увеличении скорости аэрозоля на входе в электроциклон свыше 15–17 м/с. При увеличении скорости газа в активной зоне возрастает

центробежная сила, что благоприятствует осаждению частиц, но при постоянной длине аппарата время пребывания аэрозоля в активной зоне аппарата уменьшается, снижается эффективность зарядки частиц, увеличивается унос золы. Это является следствием

Экспериментальная часть

Чтобы оценить степень влияния времени пребывания газового потока в аппарате и вторичного уноса на снижение эффективности улавливания частиц в электроциклоне, требуется исключить один из факторов. Для исключения вторичного уноса необходимо орошать осадительный электрод пленкой воды (мокрый режим работы). Тогда частицы, коснувшиеся пленки воды, не смогут вернуться обратно в поток газа, а будут необратимо удаляться из активной зоны. Были проведены эксперименты в сухом и мокром режиме работы электроциклона.

Для проведения исследований была использована лабораторная экспери-

ментальная установка (стенд), показанная на рис. 1. Исследуемый материал пылеподатчиком 2 подавался в дезагрегированном виде по входной трубе 7 в электроциклон 1. Уловленная зола собиралась в бункере электроциклона 1, а очищенный воздух по воздуховоду удалялся через рукавный фильтр 6 в атмосферу.

Для проведения опытов с орошением описанный выше электроциклон дополнялся системой орошения и удаления пульпы (рис. 2).

Для орошения осадительного электрода электроциклона 1 применялась расположенная в улитке ирригационная система, состоявшая из распре-

ментальная установка (стенд), показанная на рис. 1.

Для проведения исследований была использована лабораторная экспери-

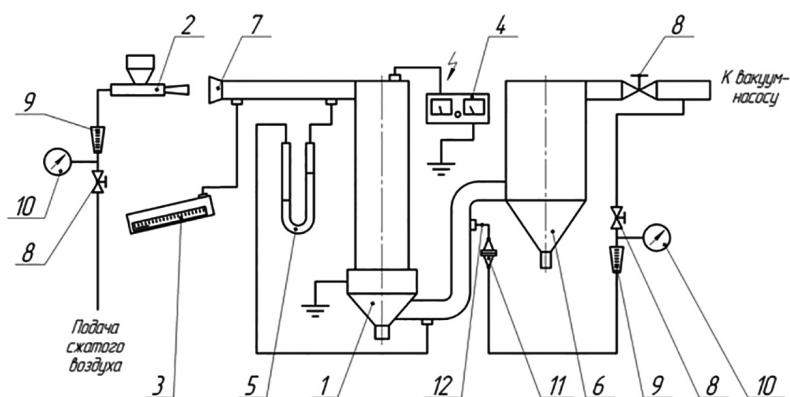


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: электроциклон – 1, пылеподатчик – 2, тягонапормер ТНЖ – 3, источник высокого напряжения (модель ИВНР-20–10) – 4, U-образную трубку для определения гидравлического сопротивления электроциклона – 5, рукавный фильтр – 6, подводящую трубу с коллектором – 7, вентили – 8, ротаметры – 9, манометры – 10, фильтродержатель (типа ИРА-20–2) – 11, пробоотборную трубку – 12

делительного кольца 2 и подающих трубок 3. Суспензия из бункера 4 удалялась через гидрозатвор 5 в montageю 6. Равномерное орошение стенки при поступательно-вращательном движении газа достигалось при расходе воды 8 л/мин.

Результаты и обсуждение

В экспериментах по улавливанию золы в мокром режиме вторичный унос был полностью исключен, вместе с тем наблюдалось неполное улавливание золы, которое можно объяснить недозарядкой частиц и активным турбулентным перемешиванием потока.

Величину уноса можно представить как $(1 - \eta) \cdot 100 \%$, что позволило оценить значения уноса в единицах степени очистки. Зависимость величины уноса от скорости при фиксированной концентрации золы $16,5 \text{ г/м}^3$ показана на рис. 3.

На рис. 3 видно, что в мокром режиме при $U = 17 \text{ кВ}$ (электроциклонный режим) унос составляет менее 1 %, при снижении напряжения до $U = 0 \text{ кВ}$

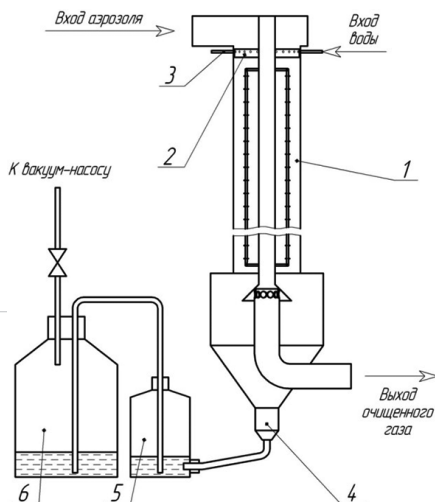


Рис. 2. Схема электроциклона для работы в мокром режиме: 1 – электроциклон, 2 – распределительное кольцо, 3 – подающие трубки, 4 – бункер, 5 – гидрозатвор, 6 – montageю

(циклонный режим) унос достигает 5–7 %, тогда как унос в сухом режиме при $U = 17 \text{ кВ}$ имеет значения 12–25 %.

По данным эксперимента также были рассчитаны значения вторичного уноса как разница между степенью очистки в мокром и сухом режиме для

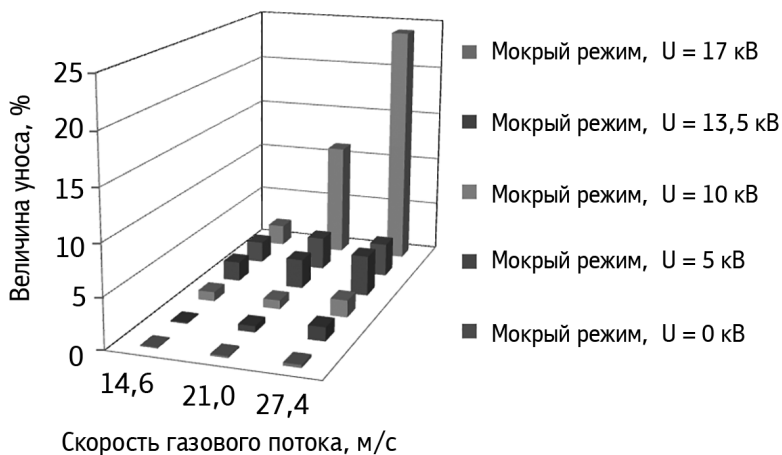


Рис. 3. Зависимость величины уноса от скорости газового потока при различных режимах работы электроциклона

соответствующих точек плана. Зависимость величины вторичного уноса от входной скорости и концентрации аэрозоля пыли показана на рис. 4.

На рис. 4 видно, что вторичный унос варьирует в интервале от 5 до 35 %, наибольшие значения наблюдаются при скоростях газа более 21 м/с. Среднее значение вторичного уноса составляет 10–15 %, что существенно выше уноса, вызванного недозарядкой. Таким образом, вторичный унос снижает эффективность улавливания пыли в электроциклоне на 5–35 % при скоростях аэрозоля 14,6–27,4 м/с, соответственно увеличивая пылеунос в 10–50 раз.

Выводы

Вторичный унос наблюдается в электроциклоне при критической скорости аэрозоля на входе свыше 14–16 м/с, что зависит от концентрации и свойств пыли.

Вторичный унос практически полностью ликвидируется путем орошения осадительного электрода пленкой воды, степень очистки при этом выше 95 % без подачи напряжения на коронирующий электрод и выше 99 % при подаче напряжения 17 кВ на коронирующий электрод.

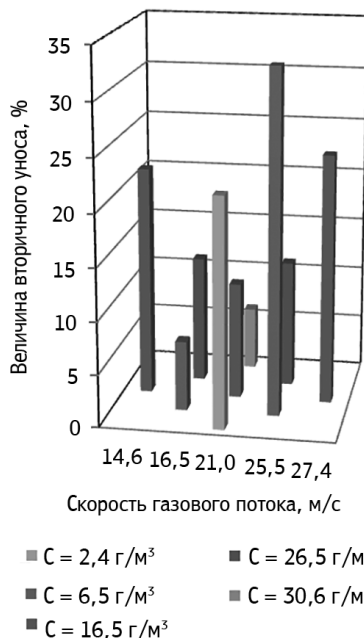


Рис. 4. Зависимость величины вторичного уноса от скорости газа при различных начальных концентрациях пыли в потоке газа при сухом режиме работы электроциклона

нирующий электрод и выше 99 % при подаче напряжения 17 кВ на коронирующий электрод.

Вследствие вторичного уноса степень очистки снижается на 5–30 %.

1. Lim K. S., Kim H. S., Lee K. W. Comparative performances of conventional cyclones and a double cyclone with and without an electric field. *J. of Aerosol Sciences*. 2004, 35(1): 103–116. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2003.07.001
2. Tsai R., Mills A. F. A model of particle re-entrainment in electrostatic precipitators. *J. of Aerosol Science*. 1995, 26(2): 227–239. DOI: 10.1016/0021-8502(94)00102-5.
3. Xiangrong Z., Lianze W., Keqin Z. A simple criterion for particle-wall adhesion in a wire-plate electrostatic precipitator. *J. of Aerosol Sciences*. 2005, 36(3): 411–417. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2004.09.008.
4. Titov A. G., Gil'vanova Z. R., Inyushkin N. V., Ermakov S. A., Shchelchkov I. P., Aitova A. I., Man'kov M. G., Tokareva N. A., Perfilov S. A. Efficiency of Electrostatic Cyclone Operation. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014, 49(9–10): 655–659. DOI:10.1007/s10556-014-9814-0.

N. P. Medvedeva¹, I. S. Sapozhnikova¹,
V. L. Rusinov^{1,2}, E. N. Ulomskii¹

¹ Ural Federal University,
19 Mira Street, 620002, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: nataly-medvedeva@yandex.ru

² Institute of Organic Synthesis Ural Division of RAS,
22 Kovalevskaya Street/20 Akademicheskaya Street,

620990, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: v.l.rusinov@urfu.ru

The redox transformations and nucleophilic replacements as possible metabolic reactions of the drug "Triazaverin". The chemical modeling of the metabolic processes

As a model of metabolic transformations of antiviral drug "Triazaverin" and its analogues-2-alkylthio-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c][1,2,4]triazine-7-ones 1a-d examined the oxidation of alkylthio groups to the corresponding sulfoxides 2a-d and sulfones 3a-d, as well as the process of nucleophilic substitution sulfonyloxy group of cysteine and cysteamine with the formation of compounds 5 and 6.

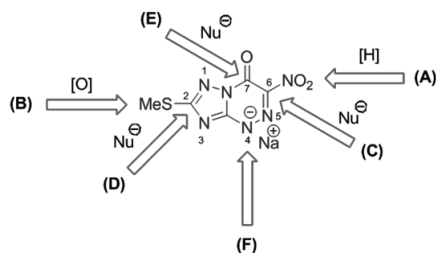
Key words: biological active compounds; heterocycles; triazine; Triazaverin; antiviral drug.

© Medvedeva N. P., Sapozhnikova I. S., Rusinov V. L., Ulomskii E. N., 2015

Introduction

The relevance of creating new antiviral drugs due to the joint action of such operating factors as the spread of socially significant, particularly dangerous infections, and the emergence of pathogenic viral strains resistant to existing drugs.

The antiviral drug "Triazaverin" and its analogues are highly effective in experiments *in vivo* and decreased activity in experiments on cell cultures, suggesting that the antiviral effect is not the "Triazaverin", and products of its transformations in the body. One way to identify



such transformations in the organism is to predict the possible products of modifications of the compounds and chemical synthesis models.

Based on the molecular structure of compounds 1a and study of chemi-

cal properties of nitroazolo[5,1-c][1,2,4] triazines [1] can assume various variants of metabolism: redox transformations in the body (directions A, B) as the reduction of the nitro group under the action of a reductases (direction A), oxidation of alkylthio fragment under the action of oxidases (direction B) and its further transformation. The part transferases under the action of N – and S-nucleophils, such as lysine, arginine, cysteine could lead to the replacement of alkylthio- or nitro groups (directions C, D).

The hydrolytic enzymes are also quite capable to lead the transformation of "Tri-

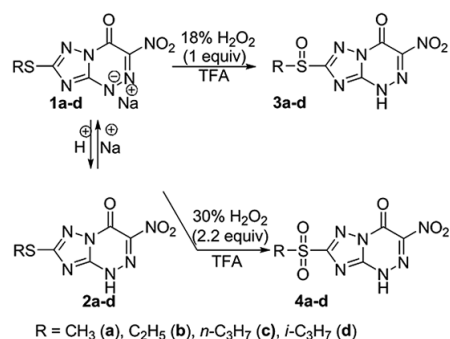
azaverin" accompanying the degradation of triazine cycle with the break of bond C-N (direction E). The alkylation on the N-atom is possible too (direction F).

With regard to the redox transformations of "Triazaverin" that we previously established that after the intragastric administration of laboratory animals of the drug substance, there is a reduction of the nitro group with the formation of 2-methylthio-6-amino-1,2,4-triazolo[5,1-c][1,2,4]triazine-7-one [2], does not exhibit antiviral action *in vitro* and, most likely, which is not applicable metabolite.

Results and Discussion

Considering the possibility of oxidation of alkylthio groups under use "Triazaverin" and its analogues, it should be noted that in the majority of viral infections at an early stage of the process is increased generation of reactive oxygen species [3]. Based on the foregoing, it is natural to assume that in these conditions can occur in the oxidation reaction of S-methyl group of "Triazaverin" characteristic, for example, for SH-containing amino acids of methionine under oxidative stress.

In the present communication present data on the production model experiments with the drug "Triazaverin" – the study of the oxidation of S-methyl group and the behavior of oxidation products under the action of S-nucleophils. This approach allows, on the one hand, to pre-



Scheme 1

dict the course of chemical reactions related to the behavior of the drug in the body, and on the other hand, by the synthesis of the respective compounds to simulate the process of formation of covalent bonds of azolo[5,1-c]1,2,4-triazines with S-key fragments of proteins as cells and virus.

Redox-transformations of "Triazaverin" and its derivatives

The first aspect of this work was the synthesis of model compounds – oxidation of sulfhydryl groups in molecules of sodium salts of 2-alkylthio-6-nitro-1,2,4-

triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-ones **1a-d** or in the associated N-H-acids comprising the formation of heterocyclic sulfoxides **3a-d** and sulfones **4a-d**. Sulfoxides

3a-d (Scheme 1) were obtained under the treatment of the compounds **1a-d** or **2a-d** by the equimolar quantity of 18 % hydrogen peroxide in the trifluoroacetic acid.

Further oxidation to the corresponding sulfones **4a-d** with the yields 62–71 % carried out by gradual addition of excess 2.2 equivalent of 30 % hydrogen peroxide to the suspension of 2-alkylthio-1,2,4-triazolo[5,1-c]-triazines in the trifluoroacetic acid at room temperature.

The represented reactions model the possible metabolic transformations of “Triazaverin” and its derivatives under the action of the active forms of oxygen including hydrogen peroxide.

Nucleophilic replacement of methylsulfonilic group. It is known that alkylsulfonil fragments are susceptible to the substitution reactions when interacting with nucleophiles [4]. With regard to the behavior of nitro group in “Triazaverin” but the susceptibility of the nitro group associated with aromatic (heteroaromatic) cycle to the displacement under the nucleophiles [5] is well known.

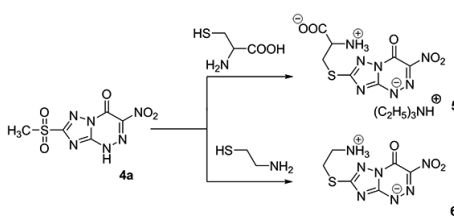
Thus in the structure of 2-alkylsulfonil-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-ones **4a-d** there are two groups that are susceptible to nucleophilic displacement. This situation is of interest for the research of the comparative reactive ability of the easy outgoing groups CH_3SO_2 - in 1,2,4-triazole and NO_2 in 1,2,4-triazine cycles in the compounds **4a-d** and also

as the model of the behavior of “Triazaverin” in the organism. As the nucleophilic reagents in this work were used S-nucleophiles (cysteine and cysteamine), which can be regarded as models of protein fragments containing cysteine fragment.

The substitution sulfonilic fragment in 2-methylsulfonil-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine **4a** under the influence, as cysteine and cysteamine, occurs in dry methanol in the presence of triethylamine in a few days with the formation of compounds **5** and **6**- substitution products methylsulfonil group with the yields 41–46 % (Scheme 2).

The date of NMR ^1H , IR-spectroscopy and elemental analysis for the compounds **5**, **6** correspond to the attributed structures.

The described displacement of alkylsulfonil group in the compound **4a** is the argument in favor of the assumption about the possible participation of this fragment in the metabolic transformations of “Triazaverin”.



Scheme 2

Experiment part

NMR ^1H and ^{13}C spectra were recorded on a spectrometer Bruker DRX-400 (400 and 100 MHz, respectively) in DMSO-d_6 and D_2O . The chemical shifts are recorded in σ scale relatively internal standard TMS for NMR ^1H spectra.

Elemental analyses were performed on CHNS-analyzer “Perkin Elmer 2400-II”. IR spectra ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) of the received compounds were recorded on a spectrophotometer “Perkin Elmer Spectrum One BFTIR” in thin layer of a

sample (DRA). Reaction monitoring and the individuality of the synthesized compounds was performed by TLC plates Sorbfil in the systems: ethyl acetate and butanol-acetic acid-water 4:1:1.

General methods 1 for preparation of 2-alkylsulfinyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazin-7-ones (3a-d).

To a suspension 0.01 mol of sodium salt 2-alkylthio-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazin-7-one (1) in 10 mL of trifluoroacetic acid by mixing was added 1.78 ml (1 eq.) of 18 % hydrogen peroxide. The reaction mass is mixed at room temperature during 3 hours. The resulting solid precipitate was filtered and was crystallized from iso-propanol.

2-Methylsulfinyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (3a) was obtained on the general methods 1 from compound 1a in terms of beige crystalline solid, yield 70 %, mp 256 °C, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 9.84 (1H, *y*tt.c., NH), 3.05 (3H, c, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 169.09 (C₂), 157.32 (C_{3a}), 144.05 (C₇), 143.57 (C₆), 25.58 (CH₃SO); IR (ν/sm⁻¹): 1750 (C=O); 1036 (-SO-); 1553,1340 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₅H₄N₆O₄S %: C 24.59, H 1.65, N 34.42. Found, %: C 24.62, H 1.43, N 34.28.

2-Ethylsulfinyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (3b) was obtained on the general methods 1 from compound 1b in terms of beige crystalline solid. Yield 74 %, mp 227 °C, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 11.16 (1H, br.s., NH), 3.36–3.16 (2H, m, CH₂), 1.24 (3H, t, *J* = 7.4, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 168.34 (C₂), 157.58 (C_{3a}), 144.36 (C₇), 143.87 (C₆), 46.64 (CH₂SO), 6.15 (CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1748 (C=O); 1022 (-SO-); 1552, 1336 (NO₂); elemen-

tal analysis, calculated for C₆H₆N₆O₄S, %: C 27.91, H 2.34, N 32.55. Found, %: C 27.87, H 2.27, N 32.31.

2-Propylsulfinyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (3c) was obtained on the general methods 1 from compound 1c in terms of beige crystalline solid. Yield 72 %, mp 222 °C, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 8.41 (1H, br.s., NH), 3.29–3.18 (2H, m, SOCH₂), 1.78–1.55 (2H, m, CH₂), 1.01 (3H, t, *J* = 7.4, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 168.19 (C₂), 157.87 (C_{3a}), 144.19 (C₇), 143.46 (C₆), 54.15 (CH₂SO), 15.21 (CH₂), 12.94 (CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1748 (C=O); 1013 (-SO-); 1556, 1336 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₇H₈N₆O₄S, %: C 30.88, H 2.96, N 30.87. Found, %: C 30.82, H 3.12, N 30.77.

2-iso-Propylsulfinyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (3d) was obtained on the general methods 1 from compound 1d in terms of beige crystalline solid. Yield 77 %, mp 239 °C, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 7.60 (1H, br.s., NH), 3.49–3.38 (1H, m, CH), 1.27 (6H, dd, *J* = 6.8, 2CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 167.79 (C₂), 157.42 (C_{3a}), 144.33 (C₇), 143.86 (C₆), 53.07 (CHSO), 15.92 (CH₃), 14.59 (CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1752 (C=O); 992(-SO-); 1555, 1342 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₇H₈N₆O₄S, %: C 30.88, H 2.96, N 30.87. Found, %: C 31.07, H 2.95, N 30.89.

The general methods 2 for preparation of 2-alkylsulfonyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazin-7-ones (4a-d).

To a suspension 0.01 mol of sodium salt 2-alkylthio-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazin-7-one (1) in 14 mL of trifluoroacetic acid by mixing dropwise was added 4 ml (2 eq.) of 30 % hydrogen peroxide in order that a temperature wasn't

above 80 °C. Then the reaction mass was mixed at a room temperature during 3 hours, the precipitate was filtered and crystallized from *iso*-propanol.

2-Methylsulfonyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (4a) was obtained on the general methods 2 from compound 1a in terms of beige crystalline solid. Yield 66 %, mp 275 °C, ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz): 7.57 (1H, br.s., NH), 3.41 (3H, s, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz): 163.86 (C₂), 158.41 (C_{3a}), 144.69 (C₇), 143.64 (C₆), 41.84 (CH₃SO₂); IR (ν/sm⁻¹): 1759 (C=O); 1347, 1138 (–SO₂–); 1570, 1323 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₅H₄N₆O₅S, %: C 23.08, H 1.55, N 32.30. Found, %: C 23.21, H 1.31, N 32.33.

2-Ethylsulfonyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (4b) was obtained on the general methods 2 from compound 1b in terms of beige crystalline solid. Yield 64 %, mp 259 °C, ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz): 9.71 (1H, br.s., NH), 3.52 (2H, qv, *J* = 7.4, CH₂), 1.33 (3H, t, *J* = 7.4, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz): 162.82 (C₂), 158.93 (C_{3a}), 145.06 (C₇), 144.02 (C₆), 48.54 (CH₂SO₂), 7.25 (CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1759 (C=O); 1311, 1140 (–SO₂–); 1557, 1332 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₆H₆N₆O₅S, %: C 26.28, H 2.21, N 30.65. Found, %: C 26.44, H 2.20, N 30.43.

2-Propylsulfonyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (4c) was obtained on the general methods 2 from compound 1c in terms of beige crystalline solid. Yield 71 %, mp 264 °C, ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz): 11.98 (1H, br.s., NH), 3.53 (2H, t, *J* = 7.6, SO₂CH₂), 1.76–1.67 (2H, m, CH₂), 0.98 (3H, t, *J* = 7.4, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz): 163.22 (C₂), 158.44 (C_{3a}),

144.91 (C₇), 143.99 (C₆), 55.35 (CH₂SO₂), 16.20 (CH₂), 12.94 (CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1748 (C=O); 1293, 1139 (–SO₂–); 1556, 1326 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₇H₈N₆O₅S, %: C 29.17, H 2.80, N 29.16. Found, %: C 29.01, H 2.88, N 29.24.

2-iso-Propylsulfinyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine-7-one (4d) was obtained on the general methods 2 from compound 1d in terms of beige crystalline solid. Yield 62 %, mp 282 °C, ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz): 8.27 (1H, br.s., NH), 3.73–3.63 (1H, m, CH), 1.35 (6H, d, *J* = 6.8, 2CH₃); ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz): 161.91 (C₂), 158.80 (C_{3a}), 144.98 (C₇), 144.02 (C₆), 54.30 (CHSO₂), 15.02 (2CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1749 (C=O); 1311, 1135 (–SO₂–); 1556, 1326 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₇H₈N₆O₅S, %: C 29.17, H 2.80, N 29.16. Found, %: C 29.11, H 2.69, N 29.00.

The general methods 3 of nucleophilic replacement in 2-methylsulfonyl-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazin-7-one.

To a suspension 0.001 mol of cysteine (or cysteamine) in 20 ml of methanol were added triethylamine and were mixed at the argon atmosphere during 5 min, then to a reaction mass were added equivalent of 2-alkylsulfonyl-triazolotriazin and were refluxed. The end of reaction is determined by TLC in system: butanol-acetic acid-water 4:1:1. The resulting solid precipitate was washed with *iso*-propanol.

Triethylammonium salt of (2'-amino-2'-carboethoxyethylthio)-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]triazine hydrochloride (5) was obtained with use of the general methods 3 and 3 equivalent of triethylamine. The product was crystallized from the water ethanol in terms of canary crystalline solid. Yield 46 %,

mp 158 °C, ¹H NMR (D₂O, 400 MHz): 4.27 (1H, dd, *J* = 7.5, 3.8, CHN), 3.98 (1H, dd, *J* = 15.2, 3.8, H_a in SCH₂), 3.66 (1H, dd, *J* = 15.2, 7.5, H_b in SCH₂), 3.21 (6H, qv., *J* = 7.28, 3CH₂), 1.29 (9H, t, *J* = 7.28, 3CH₃); ¹³C NMR (D₂O, 100 MHz): 172.02 (COO⁻), 166.09 (C₂), 159.16 (C_{3a}), 144.55 (C₇), 143.06 (C₆), 54.47 (CHN), 46.71 (3CH₂), 31.67 (SCH₂), 8.27 (3CH₃); IR (ν/sm⁻¹): 1682, 1615 (C=O); 1504, 1361 (NO₂); elemental analysis, calculated for C₁₃H₂₂N₈O₅S*H₂O, %: C 37.10, H 5.71, N 26.63. Found, %: C 36.96, H 5.56, N 26.72.

2-(2'-Amino-ethylthio)-6-nitro-1,2,4-triazolo[5,1-c]1,2,4-triazine hydrate (6)

was obtained with use of the general methods 3 and 2 equivalent of triethylamine. The product was crystallized from the water ethanol in terms of canary crystalline solid. Yield 41 %, mp 285 °C, ¹H NMR (D₂O, 400 MHz): 3.58 (2H, t, *J* = 7.03, NCH₂), 3.49 (2H, t, *J* = 7.03, SCH₂); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 163.95 (C₂), 160.12 (C_{3a}), 144.77 (C₇), 142.94 (C₆), 38.69 (CH₂N), 27.87 (SCH₂); IR (ν/sm⁻¹): 1690 (C=O); 1514, 1371 (NO₂); 3521 (broadened) (-NH₃⁺); elemental analysis, calculated for C₆H₇N₇O₃S*H₂O, %: C 26.18, H 3.27, N 35.64. Found, %: C 25.91, H 2.98, N 35

1. Rusinov V. L., Ulomskii E. N., Chupakhin O. N., Charushin V. N. Azolo[5,1-c]-1,2,4-triazines as a new class of antiviral compounds. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* 2008; 57(5): 985–1014. DOI: 10.1007/s11172-008-0130-8.
2. Karpenko I., Deev S., Kiselev O., Charushin V., Rusinov V., Ulomsky E., Deeva E., Yanvarev D., Ivanov A., Smirnova O., Kochetkov S., Chupakhin O., Kukhanova M. Antiviral properties, metabolism, and pharmacokinetics of a novel azolo-1,2,4-triazine-derived inhibitor of influenza A and B virus replication. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy.* 2010; 54(5): 2017–2022. DOI: 10.1128/AAC.01186-09.
3. Denicola A., Radi R. Peroxynitrite and drug-dependent toxicity. *Toxicology.* 2005; 208(2): 273–288. DOI: 10.1016/j.tox.2004.11.023.
4. Liu J., Dang Q., Wei Z., Zhang H., Bai X. Parallel solution-phase synthesis of a 2,6,8,9-tetrasubstituted purine library via a sulfur intermediate. *J. of Combinatorial Chemistry.* 2005; 7(4): 627–636. DOI: 10.1021/cc049819p.
5. Rusinov V. L., Ulomskii E. N., Chupakhin O. N., Petrov A. Yu., Sharonov E. A. Nitroazines. 9. Characteristic features of nucleophilic substitution of the nitro group in dihydroazolo[5,1-c] [1,2,4]triazines. *Chemistry of Heterocyclic Compounds.* 1989; 25(2): 209–213. DOI: 10.1007/BF00479921.

Н. Р. Медведева¹, И. С. Сапожникова¹,
В. Л. Русинов^{1,2}, Е. Н. Уломский¹

¹ Уральский федеральный университет
620002 Екатеринбург, ул. Мира, 19.
E-mail: nataly-medvedeva@yandex.ru

² Институт органического синтеза УРО РАН
620990 Екатеринбург ул. С. Ковалевской, 22 /
Академическая, 20.
E-mail: v.l.rusinov@urfu.ru

Редокс превращения и нуклеофильные замещения как возможные метаболические реакции препарата «Триазавирин». Химическое моделирование процессов метаболизма

В качестве модельных метаболических превращений противовирусного препарата «Триазавирин» и его аналогов – 2-алкилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло-[5,1-с][1,2,4]триазин-7-онов 1a-d рассмотрены реакции окисления алкилтиогруппы с образованием соответствующих сульфоксидов 2a-d и сульфонов 3a-d, а также процесс нуклеофильного замещения сульфонильной группы цистеином и цистеамином с образованием соединений 5 и 6.

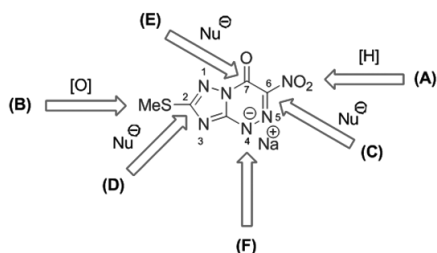
Ключевые слова: биологически активные соединения, гетероциклы, триазины, триазавирин, противовирусные препараты.

© Медведева Н. Р., Сапожникова И. С., Русинов В. Л., Уломский Е. Н., 2015

Введение

Актуальность создания новых противовирусных средств обусловлена совместным действием таких постоянно действующих факторов, как распространение социально значимых, особо опасных инфекций, а также появление патогенных вирусных штаммов, устойчивых к действию существующих лекарственных средств.

Противовирусный препарат «Триазавирин» и его аналоги обладают высокой эффективностью в опытах *in*



vivo [1] и пониженной активностью в экспериментах на клеточных культурах, что позволяет предположить противовирусное действие не самого

«Триазавирина», а продуктов его превращений в организме. Одним из способов выявления таких превращений является прогнозирование возможных продуктов модификаций соединений и химический синтез моделей.

Исходя из молекулярной структуры соединения **1a** и изучения химических свойств нитроазоло[5,1-с][1,2,4] триазинов, можно предположить различные варианты метаболизма [1]. Редокс-превращения в организме: (направления *A*, *B*) как восстановление нитрогруппы под действием редуктаз (направление *A*); окисление алкилтиофрагмента под действием оксидаз (направление *B*) и его дальнейшие превращения. Участие трансфераз при действии N- и S-нуклеофилов, таких, например, как лизин, аргинин, цистеин способно приводить к замещению

алкилтио- или нитрогрупп (направления *C*, *D*).

Гидролитические ферменты также вполне способны обуславливать превращения «Триазавирина», сопровождающиеся деструкцией триазинового цикла с разрывом связи C-N (направление *E*). Возможно и алкилирование по атому азота (направление *F*).

Что касается редокс-превращений «Триазавирина», то ранее нами было установлено, что при внутрижелудочном ведении лабораторным животным субстанции препарата происходит восстановление нитрогруппы с образованием – 2-метилтио-6-амино-1,2,4-триазоло[5,1-с][1,2,4]триазин-7-она [2], не проявляющего противовирусного действия в экспериментах *in vitro* и, скорее всего, не являющегося действующим метаболитом.

Результаты и обсуждение

Рассматривая возможность окисления алкилтиогрупп при использовании «Триазавирина» и его аналогов, нужно отметить, что при большинстве вирусных инфекций уже на ранней стадии процесса происходит усиление генерирования активных форм кислорода [3]. Исходя из изложенного естественно предположить, что в этих условиях могут происходить реакции окисления S-метильной группы «Триазавирина», свойственные, например, для SH-содержащей аминокислоты метионина при окислительном стрессе.

В настоящем сообщении приводятся данные о постановке модель-

ных экспериментов с препаратом «Триазавирин» – изучение окисления S-метильной группы и поведения продуктов окисления под действием S-нуклеофилов. Такой подход позволяет, с одной стороны, предсказать течение химических реакций, сопутствующих поведению препарата в организме, а с другой стороны, путем синтеза соответствующих соединений смоделировать процесс образования ковалентных связей азоло[5,1-с]-1,2,4-триазинов с S-фрагментами ключевых белков как клетки, так и вируса.

Редокс-превращения «Триазавирина» и его производных

Первым аспектом работы стал синтез модельных соединений – окисление

сульфгидрильной группы в молекулах натриевых солей 2-алкилтио-6-ни-

тро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-онов **1a-d** или сопряженных с ними N-H кислот **2a-d**, включающее образование гетероциклических сульфоксидов **3a-d** и сульфонов **4a-d**. При обработке соединений **1a-d** или **2a-d** эквимольным количеством 18 %-го пероксида водорода в трифторуксусной кислоте получены сульфоксиды **3a-d** (схема 1).

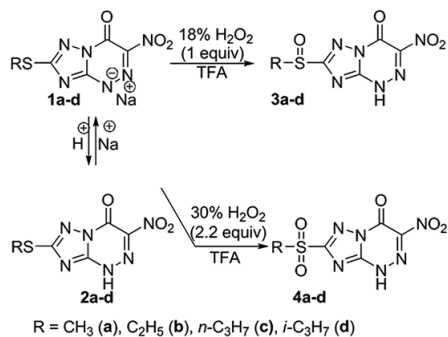


Схема 1

Дальнейшее окисление до соответствующих сульфонов **4a-d** с выходами 62–71 % осуществлено постепенным прибавлением избытка 2,2 эквивалента 30 % H₂O₂ к суспензии 2-алкилтио-1,2,4-триазоло[5,1-с]триазинов **1a-d** в трифторуксусной кислоте при комнатной температуре.

Представленные реакции моделируют возможные метаболические превращения «Триазавирина» и его производных под действием активных форм кислорода, включая H₂O₂.

Нуклеофильное замещение метилсульфонильной группы. Известно, что алкилсульфонильные фрагменты восприимчивы к реакциям замещения при взаимодействии с нуклеофилами [4]. Что касается поведения нитрогруппы в «Триазавирине», то хорошо

известна склонность NO₂-группы, связанной с ароматическим (гетероароматическим) циклом к замещению под действием нуклеофилов [5].

Таким образом, в структуре 2-алкилсульфонил-1,2,4-триазоло-[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-онов **4a-d** присутствуют две группировки, склонные к нуклеофильному вытеснению. Эта ситуация представляет интерес для исследования сравнительной реакционной способности легкоуходящих групп – CH₃SO₂– в 1,2,4-триазольном и NO₂– в 1,2,4-триазиновом циклах в соединениях **4a-d**, а также как модель поведения «Триазавирина» в организме. В качестве нуклеофильных реагентов в настоящей работе использовались S-нуклеофилы (цистеин и цистеамин), которые можно рассматривать как модели фрагментов белков, содержащих цистеиновый фрагмент.

Замещение сульфонильного фрагмента в 2-метилсульфонил-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазине **4a** под действием как цистеина, так и цистеамина происходит при кипячении в сухом метаноле в присутствии триэтиламина в течение нескольких дней с образованием соединений **5** и **6** – продуктов замещения метилсульфонильной группы с выходами 41–46 % (схема 2).

Данные ЯМР, ИК-спектроскопии и элементного анализа для соединений

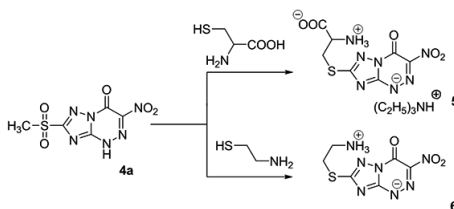


Схема 2

5, 6 соответствуют приписываемым структурам.

Описанное замещение алкилсульфонильной группы в соединении **4a**

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C получены на приборе Bruker DRX-400 (400 МГц для ^1H и 100 МГц для ^{13}C) в DMSO-d_6 и D_2O , химические сдвиги приведены в δ -шкале относительно внутреннего стандарта для спектров ^1H ЯМР – ТМС. Элементные анализы (С, Н, N) были проведены на анализаторе «Perkin Elmer 2400-II CHNS/O». ИК спектры ($4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$) полученных соединений записаны на спектрометре «Perkin Elmer Spectrum One B FTIR» в тонком слое образца (DRA). Контроль за ходом реакций и чистотой синтезированных соединений осуществляли с помощью ТСХ на пластинках Sorbfil (фирма ЗАО «Сорбполимер») в системах этилацетат и бутанол-уксусная кислота-вода 4:1:1.

Общая методика 1 получения 2-алкилсульфинил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-онов (3a-d). К суспензии 0,01 моль натриевой соли 2-алкилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-она (**1**) в 10 мл трифторуксусной кислоты при перемешивании добавляют 1,78 мл (1 экв) 18 %-й перекиси водорода. Реакционную массу перемешивают при комнатной температуре три часа, осадок отфильтровывают и кристаллизуют из *изо*-пропанола.

2-Метилсульфинил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (3a) был получен из соединения **1a** с использованием общей методики 1 в виде бежевых кристаллов, выход 70 %, *mp*

является аргументами в пользу предположения о возможном участии этого фрагмента в метаболических превращениях «Триазавирин».

256 °C, ^1H NMR (DMSO-d_6 , 400 MHz): 9,84 (1H, уш.с., NH), 3,05 (3H, с, CH_3); ^{13}C NMR (DMSO-d_6 , 100 MHz): 169,09 (C_2), 157,32 (C_{3a}), 144,05 (C_7), 143,57 (C_6), 25,58 (CH_3SO); IR ($\text{v}/\text{см}^{-1}$): 1750 (C=O); 1036 (–SO–); 1553,1340 (NO_2); Элемент. анализ $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_6\text{O}_4\text{S}$, вычислено %: С – 24,59, Н – 1,65, N – 34,42, найдено, %: С – 24,62, Н – 1,43, N – 34,28.

2-Этилсульфинил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (3b) был получен из соединения **1b** с использованием общей методики 1 в виде бежевых кристаллов, выход 74 %, *mp* 227 °C, ^1H NMR (DMSO-d_6 , 400 MHz): 11,16 (1H, уш.с., NH), 3,36–3,16 (2H, м, CH_2), 1,24 (3H, т, $J = 7,4$, CH_3); ^{13}C NMR (DMSO-d_6 , 100 MHz): 168,34 (C_2), 157,58 (C_{3a}), 144,36 (C_7), 143,87 (C_6), 46,64 (CH_2SO), 6,15 (CH_3); IR ($\text{v}/\text{см}^{-1}$): 1748 (C = O); 1022 (–SO–); 1552, 1336 (NO_2); Элемент анализ $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_4\text{S}$, вычислено %: С – 27,91, Н – 2,34, N – 32,55, найдено, %: С – 27,87, Н – 2,27, N – 32,31.

2-Пропилсульфинил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (3c) был получен из соединения **1c** с использованием общей методики 1 в виде бежевых кристаллов, выход 72 %, *mp* 222 °C, ^1H NMR (DMSO-d_6 , 400 MHz): 8,41 (1H, уш.с., NH), 3,29–3,18 (2H, м, SOCH_2), 1,78–1,55 (2H, м, CH_2), 1,01 (3H, т, $J = 7,4$, CH_3); ^{13}C NMR (DMSO-d_6 , 100 MHz): 168,19 (C_2), 157,87 (C_{3a}), 144,19 (C_7), 143,46 (C_6), 54,15 (CH_2SO), 15,21 (CH_2), 12,94 (CH_3); IR ($\text{v}/\text{см}^{-1}$): 1748 (C = O); 1013 (–SO–); 1556, 1336

(NO₂); Элементный анализ C₇H₈N₆O₄S, вычислено %: С – 30,88, Н – 2,96, N – 30,87, найдено, %: С – 30,82, Н – 3,12, N – 30,77.

2-изо-Пропилсульфинил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (3d) был получен из соединения 1d с использованием общей методики 1 в виде бежевых кристаллов, выход 77 %, mp 239 °С, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 7,60 (1H, уш.с., NH), 3,49–3,38 (1H, м, CH), 1,27 (6H, дд, J = 6,8, 2CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 167,79 (C₂), 157,42 (C_{3a}), 144,33 (C₇), 143,86 (C₆), 53,07 (CHSO), 15,92 (CH₃), 14,59 (CH₃); IR (v/sm⁻¹): 1752 (C=O); 992 (–SO–); 1555, 1342 (NO₂); Элементный анализ C₇H₈N₆O₄S, вычислено %: С – 30,88, Н – 2,96, N – 30,87, найдено, %: С – 31,07, Н – 2,95, N – 30,89.

Общая методика 2 получения 2-алкилсульфонил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-онов (4a-d). К суспензии 0,01 моль натриевой соли 2-алкилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-она (1) в 14 мл трифторуксусной кислоты при перемешивании по каплям добавляют 4 мл (2 экв) 30 % перекиси водорода так, чтобы температура не превышала 80 °С. Далее реакционную массу перемешивают при комнатной температуре еще три часа, осадок отфильтровывают и кристаллизуют из изо-пропанола.

2-Метилсульфонил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (4a) был получен из соединения 1a с использованием общей методики 2 в виде бежевых кристаллов, выход 66 %, mp 275 °С, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 7,57 (1H, уш.с., NH), 3,41 (3H,

с, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 163,86 (C₂), 158,41 (C_{3a}), 144,69 (C₇), 143,64 (C₆), 41,84 (CH₃SO₂); IR (v/sm⁻¹): 1759 (C=O); 1347, 1138 (–SO₂–); 1570, 1323 (NO₂); Элементный анализ C₅H₄N₆O₅S, вычислено %: С – 23,08, Н – 1,55, N – 32,30, найдено, %: С – 23,21, Н – 1,31, N – 32,33.

2-Этилсульфонил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (4b) был получен из соединения 1b с использованием общей методики 2 в виде бежевых кристаллов, выход 64 %, mp 259 °С, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 9,71 (1H, уш.с., NH), 3,52 (2H, кв., J = 7,4, CH₂), 1,33 (3H, т, J = 7,4, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 162,82 (C₂), 158,93 (C_{3a}), 145,06 (C₇), 144,02 (C₆), 48,54 (CH₂SO₂), 7,25 (CH₃); IR (v/sm⁻¹): 1759 (C=O); 1311, 1140 (–SO₂–); 1557, 1332 (NO₂); Элементный анализ C₆H₆N₆O₅S, вычислено %: С – 26,28, Н – 2,21, N – 30,65, найдено, %: С – 26,44, Н – 2,20, N – 30,43.

2-Пропилсульфонил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-он (4c) был получен из соединения 1c с использованием общей методики 2 в виде бежевых кристаллов, выход 71 %, mp 264 °С, ¹H NMR (DMSO-d₆, 400 MHz): 11,98 (1H, уш.с., NH), 3,53 (2H, т, J = 7,6, SO₂CH₂), 1,76–1,67 (2H, м, CH₂), 0,98 (3H, т, J = 7,4, CH₃); ¹³C NMR (DMSO-d₆, 100 MHz): 163,22 (C₂), 158,44 (C_{3a}), 144,91 (C₇), 143,99 (C₆), 55,35 (CH₂SO₂), 16,20 (CH₂), 12,94 (CH₃); IR (v/sm⁻¹): 1748 (C=O); 1293, 1139 (–SO₂–); 1556, 1326 (NO₂); Элементный анализ C₇H₈N₆O₅S, вычислено %: С – 29,17, Н – 2,80, N – 29,16, найдено, %: С – 29,01, Н – 2,88, N – 29,24.

2-изо-Пропилсульфинил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триа-

зин-7-он (4d) был получен из соединения **1d** с использованием общей методики **3** в виде бежевых кристаллов, выход 62 %, m_p 282 °C, $^1\text{H NMR}$ (DMSO-d_6 , 400 MHz): 8,27 (1H, уш.с., NH), 3,73–3,63 (1H, м, CH), 1,35 (6H, д, $J = 6,8$, 2CH_3); $^{13}\text{C NMR}$ (DMSO-d_6 , 100 MHz): 161,91 (C_2), 158,80 (C_{3a}), 144,98 (C_7), 144,02 (C_6), 54,30 (CHSO_2), 15,02 (2CH_3); IR ($\nu/\text{см}^{-1}$): 1749 (C=O); 1311, 1135 ($-\text{SO}_2-$); 1556, 1326 (NO_2); Элементный анализ $\text{C}_7\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_5\text{S}$, вычислено %: C – 29,17, H – 2,80, N – 29,16, найдено, %: C – 29,11, H – 2,69, N – 29,00.

Общая методика 3 нуклеофильного замещения в 2-метилсульфонил-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-оне. К суспензии 0,001 моль цистеина (или цистеамина) в 20 мл метанола прибавляют триэтиламин и перемешивают в атмосфере аргона в течение пяти минут, затем в реакционную массу вносят эквивалент 2-алкилсульфонил-триазолотриазина и кипятят. Окончание реакции определяют по ТСХ в системе бутанол-уксусная кислота-вода 4:1:1, после чего реакционную массу упаривают досуха. Полученный осадок промывают изопропиловым спиртом и очищают от примесей.

Триэтиламмониевую соль (2'-амино-2'-карбокситио)-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазина гидрат (5) получают с использованием

общей методики **3** и 3 экв. триэтиламина. Продукт кристаллизуют из водного этанола в виде ярко-желтых кристаллов, выход 46 %, m_p 158 °C, $^1\text{H NMR}$ (D_2O , 400 MHz): 4,27 (1H, дд, $J = 7,5$, 3,8, CHN), 3,98 (1H, дд, $J = 15,2$, 3,8, H_a в SCH_2), 3,66 (1H, дд, $J = 15,2$, 7,5, H_b в SCH_2), 3,21 (6H, кв., $J = 7,28$, 3CH_2), 1,29 (9H, т, $J = 7,28$, 3CH_3); $^{13}\text{C NMR}$ (D_2O , 100 MHz): 172,02 (COO^-), 166,09 (C_2), 159,16 (C_{3a}), 144,55 (C_7), 143,06 (C_6), 54,47 (CHN), 46,71 (3CH_2), 31,67 (SCH_2), 8,27 (3CH_3); IR ($\nu/\text{см}^{-1}$): 1682, 1615 (C=O); 1504, 1361 (NO_2); Элементный анализ $\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{N}_8\text{O}_5\text{S} \times \text{H}_2\text{O}$, вычислено %: C – 37,10, H – 5,71, N – 26,63, найдено, %: C – 36,96, H – 5,56, N – 26,72.

2-(2'-Амино-этилтио)-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин гидрат (6) получают с использованием общей методики **3** и 2 экв. триэтиламина. Продукт кристаллизуют из водного метанола в виде ярко-желтых кристаллов, выход 41%, m_p 285 °C, $^1\text{H NMR}$ (D_2O , 400 MHz): 3,58 (2H, т, $J = 7,03$, NCH_2), 3,49 (2H, т, $J = 7,03$, SCH_2); $^{13}\text{C NMR}$ (DMSO-d_6 , 100 MHz): 163,95 (C_2), 160,12 (C_{3a}), 144,77 (C_7), 142,94 (C_6), 38,69 (CH_2N), 27,87 (SCH_2); IR ($\nu/\text{см}^{-1}$): 1690 (C=O); 1514, 1371 (NO_2); 3521 (broadened) ($-\text{NH}_3^+$); Элементный анализ $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}_7\text{O}_3\text{S} \times \text{H}_2\text{O}$, вычислено %: C – 26,18, H – 3,27, N – 35,64, найдено, %: C – 25,91, H – 2,98, N – 35,57.

1. Rusinov V. L., Ulomskii E. N., Chupakhin O. N., Charushin V. N. Azolo[5,1-с]-1,2,4-triazines as a new class of antiviral compounds. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* 2008, 57(5): 985–1014. DOI: 10.1007/s11172-008-0130-8.
2. Karpenko I., Deev S., Kiselev O., Charushin V., Rusinov V., Ulomsky E., Deeva E., Yanvarev D., Ivanov A., Smirnova O., Kochetkov S., Chupakhin O., Kukhanova M. Antiviral properties, metabolism, and pharmacokinetics of a novel azolo-1,2,4-triazine-derived

- inhibitor of influenza A and B virus replication. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2010, 54(5): 2017–2022. DOI: 10.1128/AAC.01186–09.
3. Denicola A., Radi R. Peroxynitrite and drug-dependent toxicity. *Toxicology*. 2005, 208(2): 273–288. DOI: 10.1016/j.tox.2004.11.023.
 4. Liu J., Dang Q., Wei Z., Zhang H., Bai X. Parallel solution-phase synthesis of a 2,6,8,9-tetrasubstituted purine library via a sulfur intermediate. *J. of Combinatorial Chemistry*. 2005, 7(4): 627–636. DOI: 10.1021/cc049819p
 5. Rusinov V.L., Ulomskii E.N., Chupakhin O.N., Petrov A. Yu., Sharonov E.A. Nitroazines. 9. Characteristic features of nucleophilic substitution of the nitro group in dihydroazolo[5,1-c] [1,2,4]triazines. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1989, 25(2): 209–213. DOI: 10.1007/BF00479921.

A. V. Melnikova, F. P. Figilyantov, A. B. Shein

Perm State University, Russia, 614990, Perm,

Bukireva str., 15

E-mail: ashein@psu.ru

Investigation of industrial compositions SONKOR as corrosion inhibitors of mild steel in neutral media containing hydrogen sulfide

Electrochemical and corrosion behavior of mild steel in neutral media containing hydrogen sulfide has been investigated by weight-loss and electrochemical methods and protective effect of industrial compositions SONKOR has been determined. It has been shown that in 3 % NaCl compositions SONKOR have weak protective effect but it increases greatly in presence of hydrogen sulfide in the solution. At concentration of $H_2S = 0,6$ gram per liter maximal protective effect has SONKOR 9801 (85.57 %) and SONKOR 9920A (81.97 %). Inhibitors SONKOR 9021C (70.82 %), 9510A (73.11 %) и 9701 (67.87 %) show less protective effect.

Key words: Electrochemistry; corrosion behavior; of industrial compositions SONKOR; hydrogen sulfide

© Melnikova A. V., Figilyantov F. P., Shein A. B., 2015

Introduction

The corrosion of metals causes a great harm to many industries, primarily to the enterprises of oil and gas production and petroleum refining. This is due to the aggressive properties of corrosive environments in oil, which are caused by the presence of mineralized water, hydrogen sulfide and sulphate-reducing bacteria, and carbon dioxide. Some of the most economical and efficient methods of metal protection methods are associated with the use of corrosion inhibitors [1]. Inhibitors in these industries are applied at all stages of processing, transportation

of oil, gas and petrochemicals. Protection of metals from corrosion inhibitors based on the property of some individual chemical compounds or their mixtures when introduced in low concentrations in the corrosive environment to reduce the rate of corrosion of the process or completely suppress it.

The aim of this work was to study the effectiveness of a range of industrial compositions series SONKOR as inhibitors of the corrosion of S31600 steel in neutral hydrogen sulfide-containing environments.

Experimental technique

The studies of inhibitors was carried out by the gravimetric and electrochemical methods. The gravimetric method is to determine the corrosion rate by the mass loss of the samples. The electrochemical method consists in removing the polarization curves using a potentiostat-galvanostat with built in frequency analyzer Solartron 128 °C (Solartron Analytical), the calculation coefficients, which determine the mechanism of action of corrosion inhibitors of tested metal, as well as in determining the corrosion rate of metal by extrapolation plots of the polarization curve at the corrosion potential of E_{cor} . The chemical compounds were studied in the work as inhibitors of the industrial

composition of domestic production series SONKOR (company "Neftehim", Ufa). The gravimetric method was studied the protective action of inhibitors at concentrations: 0.025; 0.050; 0.100; 0.200 g/l. In the electrochemical studies was chosen as the optimal concentration of the inhibitor is 0.100 g/L.

The experiment was carried out in 3 % NaCl solution, and, when introduced into a solution of various concentrations of H_2S (0.1; 0.2; 0.4; 0.6 g/l). The working solutions were prepared with distilled water. A hydrogen sulfide is received directly in the working solution by introducing appropriate quantities of Na_2S and HCl.

Results and discussions

The results of gravimetric determination of corrosion rate of mild steel S31600 in 3 % NaCl and the impact of hydrogen sulfide and the studied inhibitors SONKOR are shown in table 1. It is seen that in the absence of hydrogen sulfide inhibitors have a weak protective effect (Z), and SONKOR 9701 and does not have any effect. The introduction of hydrogen sulfide into a solution of 3 % NaCl significantly increases the corrosion rate of steel (0.149 g/(m²h) to 0.578 g/(m²h)) at H_2S concentration of 0.4 g/l and up to 0.747 g/(m²h) at H_2S concentration of 0.6 g/L. The protective effect of inhibitors also significantly increased in the presence of hydrogen sulfide and the increase of its concentration in solution. Among the investigated compositions proved to be most effective composition SONKOR 9801 and SONKOR A, a protective effect which increased to 85.57 and 81.97 %, respectively. The average protective effect ($Z < 75$ %)

were showed by the inhibitors SONKOR 9021C, 9510A and 9701.

The protective effect of inhibitors of SONKOR markedly increased in a neutral environment in the presence of hydrogen sulfide, which in itself is a powerful stimulant corrosion. This is probably due to the synergistic action of the inhibitors and the hydrogen sulfide. It is known that organic amendments enter into a chemical reaction with hydrogen sulfide, forming on the steel surface protective film of insoluble or sparingly soluble compounds. There is a joint effect of the inhibitor and the shielding layer of corrosion products on the development of the corrosion process.

The results of the study of protective action of the inhibitors SONKOR method of polarization curves presented in tables 2–4. The polarization curves is widely used in corrosion the for the study of corrosion inhibitors because it allows you to

calculate the corrosion rate i_{cor} in units of current density, to determine a slopes of the polarization curves b_k and b_a , the corrosion potential of E_{cor} , and also to determine what type of inhibitor is part of the test substance: which of the partial electrode reactions (release of hydrogen, the ionization of oxygen or ionization of metal) mainly slows down the inhibitor.

The results showed that inhibitors of SONKOR 9510A and 9021C increase the polarizability of the anode process, therefore they can be classified as anodic type inhibitors. The CONCOR 9701, 9801 and 9920A inhibitors are mixed type of one.

Introduction to the NaCl solution of hydrogen sulfide leads to a parallel shift

of the polarization curves at higher currents, which ultimately accelerates the overall corrosion of the S31600 steel. The electrochemical studies were performed in solutions containing 0.6 g/l of H_2S , because the concentration of hydrogen sulfide is most strongly accelerated corrosion of steel. In inhibited H_2S -containing solutions cathodic and anodic currents decreased markedly, which confirmed the results of gravimetric test the higher efficiency of the inhibitors SONKOR in the presence of hydrogen sulfide. The discrepancy between the values of the protective action of inhibitors in gravimetric (Z_{gr}) and electrochemical methods ($Z_{e/x}$) is due to the fact that in the weight

Table 1

The corrosion of steel and the protective action of inhibitors SONKOR (0.1 g/l) in 3 % NaCl + H_2S

The inhibitor	3 % NaCl		3 % NaCl + H_2S					
			0.2 g/L H_2S		0.4 g/L H_2S		0.6 g/L H_2S	
	K, $g/m^2 \cdot h$	Z, %	K, $g/m^2 \cdot h$	Z, %	K, $g/m^2 \cdot h$	Z, %	K, $g/m^2 \cdot h$	Z, %
Not	0.150	–	0.368	–	0.578	–	0.748	–
SONKOR 9021C	0.123	18.03	0.186	49.33	0.201	65.25	0.218	70.82
SONKOR 9510A	0.125	16.39	0.189	48.67	0.213	63.14	0.201	73.11
SONKOR 9701	0.152	0	0.150	59.33	0.189	67.37	0.240	67.87
SONKOR 9801	0.135	9.83	0.120	67.33	0.125	78.39	0.108	85.67
SONKOR 9920A	0.125	16.39	0.142	61.33	0.152	73.73	0.135	81.97

Table 2

The corrosion-electrochemical properties of Steel in 3 % NaCl solution in the presence of 0.1 g/L inhibitors

The inhibitor (0, 1 g/l)	$-E_{cor}$, V	b_a , mV	b_k , mV	i_{cor} , A/m ²	Z_{gr} , %	$Z_{e/x}$, %
–	0.545	138	245	0.105	–	–
SONKOR 9021C	0.408	64	263	0.101	18.03	3.45
SONKOR 9510A	0.413	65	162	0.088	16.39	15.94
SONKOR 9701	0.418	76	259	0.072	0	31.58
SONKOR 9801	0.432	79	240	0.069	9.83	34.26
SONKOR 9920A	0.458	76	151	0.030	16.39	71.56

Table 3

The corrosion-electrochemical properties of steel in 3 % NaCl solution + H₂S
(c = 0.1; 0.2; 0.4; 0.6 g/L)

Concentration of H ₂ S, g/L	-E _{cor} , V	b _a , mV	b _k , mV	i _{cor} , A/m ²
0	0.545	138	245	0.105
0.1	0.428	89	870	0.304
0.2	0.403	77	384	0.397
0.4	0.397	89	419	1.057
0.6	0.397	111	440	1.371

Table 4

The corrosion-electrochemical properties of steel in 3 % NaCl solution+ H₂S (0.6 g/L)
in the presence of 0.1 g/L inhibitors

The inhibitor (0, 1 r/π)	-E _{cor} , V	b _a , mV	b _k , mV	i _{cor} , A/m ²	Z _{ip} , %	Z _{3/x} , %
-	0.397	111	440	1.371	-	-
SONKOR 9021C	0.399	92	369	0.409	70.82	70.16
SONKOR 9510A	0.407	94	465	0.370	73.11	73.00
SONKOR 9701	0.410	92	506	0.334	67.87	75.62
SONKOR 9801	0.412	98	764	0.408	85.57	70.88
SONKOR 9920A	0.383	87	546	0.342	81.97	75.10

measurements to determine the average corrosion rate over 24 h and during the electrochemical measurements of the corrosion rate at the moment.

The system *metal– water–hydrogen sulfide* is a very complex and even equilibrium can be many reactions to form a variety of compounds. When considering the mechanism of hydrogen sulfide corrosion, it should be borne in mind that, depending on pH in solutions of electrolytes, the hydrogen sulfide may be present in different forms at pH < 6 the main part is in the form of molecular dissolved gas, at pH > 6 in the

form of SH⁻, in alkaline electrolytes – S²⁻. A significant effect of pH on the rate of hydrogen sulfide corrosion is determined by kinetic reasons associated with resistance resulting from corrosion of the films. The presence of sulfide and hydrosulfide ions in corrosive environment contributes to a dramatic stimulation of both partial electrochemical reactions at the steel².

The presence in a corrosive environment H₂S and O₂ leads to further destruction of the metal, possibly because of the reaction in which the intermediate product H₂S₂ is a depolarizer which is equal to the oxygen³.

Conclusion

In the environment of hydrogen sulfide inhibitors series SONKOR dramatically increase its effectiveness in neutral solution. They can be attributed to the class of mixed-type inhibitors, because they inhibit both the partial electrochemical process, but more particularly inhibitors inhibit the cathodic process that occurs with a mixed oxygen-hydrogen depolarization.

1. Kim Ya. R., Tsygankova L. E., Kichigin V. I. *Korroziya: materialy, zaschita*. 2005;8: 30.
2. I. L. Rosenfeld, *Ingibitory korrozii*, Khimiya, Moscow, 1978. 300 pp. (In Russian).
3. Yashina G. M., Bobov S. S., Smolenskaya E. A. *Korroziya i zaschita v neftegaz. promyshl.* 1980;8: 24.

А. В. Мельникова, А. П. Фигильянтов, А. Б. Шеин

*Пермский государственный национальный
исследовательский университет
614990, Пермь, ул. Букирева, 15.
E-mail: ashein@psu.ru*

Изучение промышленных композиций серии СОНКОР в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в нейтральных сероводородсодержащих средах

Методами гравиметрических испытаний и поляризационных измерений изучено коррозионно-электрохимическое поведение малоуглеродистой стали марки Ст. 3 в нейтральных и нейтральных сероводородсодержащих средах, исследовано защитное действие ряда отечественных ингибирующих композиций в данных условиях. Установлено, что в 3 % растворе NaCl-ингибиторы проявляют слабое защитное действие, а в присутствии H_2S в основном обладали средним Z (до 50 %), заметно возрастающим с увеличением концентрации сероводорода в растворе. Максимальным защитным действием при концентрации 0,6 г/л H_2S в растворе обладали ингибиторы СОНКОР 9801 (85,57 %) и 9920А (81,97 %). Ингибиторы СОНКОР 9021С (70,82 %), 9510 А (73,11 %) и 9701 (67,87 %) обладали средним защитным эффектом.

Ключевые слова: электрохимия, коррозионно-электрохимическое поведение, композиция СОНКОР, сульфид водорода.

© Мельникова А. В., Фигильянтов А. П., Шеин А. Б., 2015

Введение

Коррозия металлов наносит огромный вред многим отраслям промышленности, и в первую очередь предприятиям нефтегазодобычи и нефтегазопереработки. Это объясняется агрессивными свойствами коррозионных сред при добыче нефти, которые обусловлены наличием в них большого количества минерализованной воды, сероводорода и сульфатредуцирующих бактерий, а также диоксида углерода. Одними из наиболее экономичных и эф-

фективных методов защиты металлов являются методы, связанные с использованием ингибиторов коррозии [1]. Ингибиторы в этих отраслях промышленности применяются на всех стадиях переработки, транспортировки нефти, газа и продуктов нефтехимии. Защита металлов от коррозии ингибиторами основана на свойстве некоторых индивидуальных химических соединений или их смесей при введении их в незначительных концентрациях в коррозион-

ную среду уменьшить скорость коррозионного процесса или полностью его подавлять.

Чтобы судить о защитных свойствах того или иного ингибитора, необходим комплексный подход к изучению его

Методика эксперимента

Исследования ингибиторов проводили гравиметрическим и электрохимическим методами. Гравиметрический метод заключается в определении скорости коррозии по убыли массы образцов. Электрохимический метод заключается в снятии поляризационных кривых с помощью потенциостата-гальваностата с встроенным частотным анализатором Solartron 1280C (Solartron Analytical), расчете Тафелевых коэффициентов, по которым определяют механизм действия ингибиторов коррозии исследуемого металла, а также в определении скорости коррозии металла путем экстраполяции Тафелевых участков поляризационной кривой на потенциал коррозии Е_{кор}. Химические соединения, исследован-

ные в работе в качестве ингибиторов, – промышленные композиции отечественного производства серии СОНКОР (ЗАО «Нефтехим», г. Уфа). Гравиметрическим методом было изучено защитное действие ингибиторов в концентрациях: 0,025; 0,050; 0,100; 0,200 г/л. При электрохимических исследованиях была выбрана оптимальная концентрация ингибитора – 0,100 г/л.

Эксперимент выполнялся в 3 % растворе NaCl, а также при введении в раствор различных концентраций H₂S (0,1; 0,2; 0,4; 0,6 г/л). Рабочие растворы готовили на дистилляте. Сероводород получали непосредственно в рабочем растворе путем введения соответствующих количеств Na₂S и HCl.

Защитное действие ингибиторов также существенно увеличивается в присутствии сероводорода и с увеличением его концентрации в растворе. Среди исследованных композиций наиболее эффективными оказались композиции СОНКОР 9801 и СОНКОР 9920А, защитное действие которых возросло до 85,57 и 81,97 % соответственно. Ингибиторы СОНКОР 9021С, 9510А и 9701 показали среднее защитное действие (Z < 75 %).

Таким образом, защитное действие ингибиторов СОНКОР заметно увеличи-

Результаты и их обсуждение

Результаты гравиметрического определения скорости коррозии Ст. 3 в 3 % NaCl и влияния на нее сероводорода и исследуемых ингибиторов СОНКОР приведены в таблице 1. Видно, что в отсутствии сероводорода ингибиторы обладают слабым защитным действием (Z), а СОНКОР 9701 и вообще не обладает никаким эффектом. Введение сероводорода в раствор 3 % NaCl существенно увеличивает скорость коррозии стали (с 0,149 г/м²·ч до 0,578 г/м²·ч при концентрации H₂S 0,4 г/л и до 0,747 г/м²·ч при концен-

трации H₂S 0,6 г/л. Защитное действие ингибиторов также существенно увеличивается в присутствии сероводорода и с увеличением его концентрации в растворе. Среди исследованных композиций наиболее эффективными оказались композиции СОНКОР 9801 и СОНКОР 9920А, защитное действие которых возросло до 85,57 и 81,97 % соответственно. Ингибиторы СОНКОР 9021С, 9510А и 9701 показали среднее защитное действие (Z < 75 %).

Таким образом, защитное действие ингибиторов СОНКОР заметно увеличи-

чивается в нейтральной среде в присутствии сероводорода, который сам по себе является сильным стимулятором коррозии. Это, вероятно, обусловлено синергетическим действием ингибиторов и сероводорода. Известно, что органические добавки вступают в химическое взаимодействие с сероводородом, образуя на поверхности стали защитную пленку из нерастворимых или труднорастворимых соединений. При этом наблюдается совместное влияние ингибитора и экранирующего слоя продуктов коррозии на развитие коррозионного процесса.

Результаты исследования защитного действия ингибиторов СОНКОР методом поляризационных кривых представлены в таблицах 2–4. Метод поляризационных кривых широко используется в коррозиологии для изучения ингибиторов коррозии, поскольку он позволяет рассчитать скорость коррозии $i_{кор}$ в единицах плотности тока, определить Тафелевы наклоны поляризационных кривых b_k и b_a , потенциал коррозии $E_{кор}$, а также определить, к какому типу ингибиторов относится исследуемое вещество, т.е. какую из

парциальных электродных реакций (выделение водорода, ионизацию кислорода или ионизацию металла) преимущественно замедляет ингибитор.

Результаты показали, что ингибиторы СОНКОР 9510А и 9021С увеличивают поляризуемость анодного процесса, следовательно их можно отнести к анодному типу ингибиторов. Ингибиторы СОНКОР 9701, 9801 и 9920А являются ингибиторами смешанного типа.

Введение в раствор NaCl сероводорода приводит к параллельному сдвигу поляризационных кривых в область более высоких токов, что в конечном счете ускоряет общую коррозию Ст. 3. Электрохимические исследования проводили в растворах, содержащих 0,6 г/л H_2S , т.к. данная концентрация сероводорода наиболее сильно ускоряла коррозию стали. В ингибированных сероводородсодержащих растворах катодные и анодные токи заметно уменьшились, что подтвердило результаты гравиметрических испытаний более высокой эффективности ингибиторов СОНКОР в присутствии сероводорода. Несовпадение значений

Таблица 1
 Показатели коррозии стали Ст.3 и защитного действия ингибиторов СОНКОР (0,1 г/л) в 3 % NaCl + H_2S

Ингибитор	3 % NaCl		3 % NaCl + H_2S					
			0,2 g/L H_2S		0,4 g/L H_2S		0,6 g/L H_2S	
	K, г/м ² ·ч	Z, %	K, г/м ² ·ч	Z, %	K, г/м ² ·ч	Z, %	K, г/м ² ·ч	Z, %
Нет	0,150	–	0,368	–	0,578	–	0,748	–
СОНКОР 9021С	0,123	18,03	0,186	49,33	0,201	65,25	0,218	70,82
СОНКОР 9510А	0,125	16,39	0,189	48,67	0,213	63,14	0,201	73,11
СОНКОР 9701	0,152	0	0,150	59,33	0,189	67,37	0,240	67,87
СОНКОР 9801	0,135	9,83	0,120	67,33	0,125	78,39	0,108	85,67
СОНКОР 9920А	0,125	16,39	0,142	61,33	0,152	73,73	0,135	81,97

защитного действия ингибиторов что в весовых измерениях определяется в гравиметрическом ($Z_{гр}$) и электрохимическом методах ($Z_{э/х}$) связано с тем,

Таблица 2

Коррозионно-электрохимические характеристики Ст.3 в 3 % растворе NaCl в присутствии 0,1 г/л ингибиторов

Ингибитор(0,1 г/л)	$-E_{кор}$, В	b_a , мВ	b_k , мВ	$i_{кор}$, А/м ²	$Z_{гр}$, %	$Z_{э/х}$, %
Без ингибитора	0,545	138	245	0,105	–	–
СОНКОР 9021С	0,408	64	263	0,101	18,03	3,45
СОНКОР 9510А	0,413	65	162	0,088	16,39	15,94
СОНКОР 9701	0,418	76	259	0,072	0	31,58
СОНКОР 9801	0,432	79	240	0,069	9,83	34,26
СОНКОР 9920А	0,458	76	151	0,030	16,39	71,56

Таблица 3

Коррозионно-электрохимические характеристики Ст. 3 в 3 % растворе NaCl+ H₂S (C = 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 г/л)

Концентрация H ₂ S, г/л	$-E_{кор}$, В	b_a , мВ	b_k , мВ	$i_{кор}$, А/м ²
0	0,545	138	245	0,105
0,1	0,428	89	870	0,304
0,2	0,403	77	384	0,397
0,4	0,397	89	419	1,057
0,6	0,397	111	440	1,371

Таблица 4

Коррозионно-электрохимические характеристики Ст. 3 в 3 % растворе NaCl + H₂S (0,6 г/л) в присутствии 0,1 г/л ингибиторов

Ингибитор (0,1 г/л)	$-E_{кор}$, В	b_a , мВ	b_k , мВ	$i_{кор}$, А/м ²	$Z_{гр}$, %	$Z_{э/х}$, %
Без ингибитора	0,397	111	440	1,371	–	–
СОНКОР 9021С	0,399	92	369	0,409	70,82	70,16
СОНКОР 9510А	0,407	94	465	0,370	73,11	73,00
СОНКОР 9701	0,410	92	506	0,334	67,87	75,62
СОНКОР 9801	0,412	98	764	0,408	85,57	70,88
СОНКОР 9920А	0,383	87	546	0,342	81,97	75,10

а при электрохимических измерениях – скорость коррозии в данный момент.

Система «металл – вода – сероводород» является очень сложной, и в ней даже в равновесных условиях могут протекать многие реакции с образованием разнообразных соединений. При рассмотрении механизма сероводородной коррозии следует иметь в виду, что в зависимости от рН-среды в растворах электролитов сероводород может присутствовать в разных формах: при $\text{pH} < 6$ основная часть находится в виде молекулярно-растворенного газа, при $\text{pH} > 6$ в виде SH^- , в сильнощелочных электролитах – S^{2-} . Существенное влияние рН на скорость се-

роводородной коррозии определяется кинетическими причинами, связанными со стойкостью образующихся в результате коррозии пленок. Присутствие сульфид- и гидросульфид-ионов в коррозионной среде способствует резкому стимулированию обоих парциальных электрохимических реакций на стали [2].

Одновременное присутствие в коррозионной среде H_2S и O_2 приводит к еще большему разрушению металла, поскольку возможно протекание реакции, в которой промежуточный продукт H_2S_2 является деполяризатором, равным по силе кислороду [3].

Заключение

Таким образом, в среде сероводорода ингибиторы серии СОНКОР резко увеличивают свою эффективность в нейтральных средах. Их можно отнести к классу ингибиторов смешанного типа, поскольку они тормозят оба

парциальных электрохимических процесса, однако в большей степени ингибиторы тормозят катодный процесс, протекающий со смешанной кислородно-водородной деполяризацией.

1. Kim Ya. R., Tsygankova L. E., Kichigin V. I. *Korrozija: materially, zaschita*. 2005;8: 30.
2. Rosenfeld I. L., *Ingibitory korrozii*, Khimiya, Moscow, 1978, 300 pp. (In Russian).
3. Yashina G. M., Bobov S. S., Smolenskaya E. A. *Korrozija i zaschita v neftegaz. promyshl.* 1980;8: 24.

1. СТРУКТУРА ПУБЛИКАЦИЙ

Темплат статьи можно найти по ссылке: <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/guidelines/AuthorGuidelines/AuthoringTools/Templates/index.asp>

1.1. Полные статьи

Публикация должна быть написана сжато, тщательно отредактирована авторами, должна включать все необходимые части, а также быть легко воспринимаемой, а результаты исследований – ясно понимаемыми и воспроизводимыми.

Журнал является двуязычным (русским и английским). Авторы могут присылать статью только на одном языке, кроме некоторых пунктов, указанных ниже. Редакция берет на себя обязательство перевести вашу статью на другой язык. Оплата за публикацию статьи не берется. Все статьи публикуются бесплатно, после научного рецензирования.

1.1.1. Заглавие статьи

Текст рукописи начинается с заглавия статьи, которое должно максимально привлекать внимание читателя, полно и точно описывая содержание статьи, но в то же время быть коротким и ясным. Длительные систематические названия и сложные, многочисленные химические формулы следует избегать, где это возможно. Следует также избегать сокращений. Если публикация является серийным сообщением, ее заглавие дополняется сноской (к порядковому номеру сообщения), дающим ссылку на предыдущую работу, например: «Сообщение 8 см. 1». Серийные сообщения нумеруются арабскими цифрами.

1.1.2. Имена и фамилии авторов

Должны быть представлены полные имена всех авторов статьи (в русской и английской транскрипции). Уделять должное внимание, чтобы все сотрудники, участвующие в работе, те, кто внесли значительный вклад в исследование, были указаны в качестве соавторов. По представлению рукописи автор, ответственный за переписку, подтверждает тот факт, что его соавторы согласились на ее публикацию, и принимает на себя ответственность за то, чтобы были правильно включены все (и только) авторы. Автор, ответственный за переписку, подписывает лицензию на авторские права от имени всех авторов.

1.1.3. Графический абстракт статьи

Графический реферат (абстракт) может включать цветной рисунок (изображение, график) (не больше 8 см шириной и 4 см высотой) и 20–30 слов текста, которые отражают основные аспекты вашей работы. Графики должны быть ясными, по возможности простые схематические диаграммы и схемы реакций предпочтительны для изображения кристаллических структур и сложных графиков. Все подписи на рисунке должны быть выполнены на английском языке.

1.1.4. Аннотация

Каждая статья должна сопровождаться аннотацией (120–250 слов), кратко и ясно описывающей основные объекты и результаты работы, должна дать

читателю ясное понимание того, что достигнуто в этой работе. Аннотация должна быть независимой от основного текста, однако имена, названия и формулы соединений могут сопровождаться номерами, на которые имеются ссылки в основном тексте статьи. Пожалуйста, имейте в виду, что читатели все больше и больше используют поисковые слова (ключевые слова) для нахождения литературы, опознаваемые, способствующие поиску термины и ключевые слова (представлены на русском и английском языках) должны быть включены в аннотацию, чтобы максимально облегчить читателю поиск вашей статьи. Аннотация не должна содержать экспериментальные данные, сокращения и ссылки на литературу.

1.1.5. Введение

В первых абзацах основного текста кратко обсуждается известная литературная информация по исследуемому вопросу, обращается внимание на важность обсуждаемой области знания в контексте интересов читателей журнала. Далее определяются недостатки известных методов, которые важно устранить, и обрисовывается перспектива, открывающаяся в случае успешного решения проблем. Введение должно ясно и четко с соответствующими ссылками обозначить проблему, цель, актуальность исследования и пути его решения.

1.1.6. Результаты и обсуждение

Затем следует обсудить и объяснить полученные в работе результаты, проанализировать особенности синтеза, продемонстрировать и обсудить возможные ограничения. В тексте обобщаются и разъясняются только те спектральные данные, которые используются для подтверждения структуры полученных соединений. Перечисление одних и тех же данных в тексте, таблицах и на рисунках не допускается. Для новых методов синтеза желательно обсудить механизм реакции. Основной текст статьи завершается краткими выводами, которые не должны повторять аннотацию.

1.1.7. Экспериментальная часть

В начале экспериментальной части приводятся названия приборов, на которых зарегистрированы физико-химические характеристики веществ, указываются либо источники использованных нетривиальных реагентов (например, «коммерческие препараты, название фирмы»), либо даются ссылки на методики их получения. Каждый параграф экспериментальной части, описывающий получение конкретного соединения, должен содержать его полное наименование по номенклатуре УРАС и его порядковый номер. Для всех впервые синтезированных соединений необходимо привести доказательства приписываемого им строения и данные, позволяющие судить об их индивидуальности и степени чистоты. Для известных веществ, синтезированных опубликованным ранее методом, должна быть приведена ссылка на литературные данные. Если, по мнению

рецензента или редактора, новые соединения не были удовлетворительно охарактеризованы, статья не будет принята к печати. Редактор может принять статью, не содержащую данные всех требуемых физико-химических параметров новых соединений, если он считает, что приведенные данные достаточны для доказательства обсуждаемых данных.

1.1.8. Заключение

Нужно для интерпретации и отражения новизны и значимости работы. Заключение не должно суммировать информацию уже присутствующую в тексте или аннотации.

1.1.9. Благодарности

Сотрудников, имеющих отношение к данной работе, но не авторов, можно поблагодарить в отдельном параграфе в конце статьи. Благодарности должны быть краткими по возможности. Все источники финансирования должны быть отмечены.

1.1.10. Посвящения

Персональные посвящения подходящего вида могут быть включены как сноска в названии статьи. Посвящения юбилеям (от 60 и выше) и в связи с кончиной будут рассматриваться соответственно. Другие формы посвящений должны быть одобрены главным редактором журнала.

1.1.11. Библиографические ссылки и сноски.

Они должны быть написаны в конце статьи и пронумерованы.

1.2. Краткие сообщения (письма в редакцию)

2. СТИЛЬ И ПРЕЗЕНТАЦИЯ

2.1. Краткость

Статьи должны быть написаны кратко и лаконично. Повторение и украшательство лишними (не необходимыми) словами и фразами не допустимо. Чрезмерное использование диаграмм и дублирование данных в тексте, таблицах и рисунках не одобряется.

2.2. Язык

Журнал является двуязычным (русский и английский язык). Авторы могут присылать статью только на одном языке, кроме некоторых пунктов, указанных ниже. Редакция берет на себя обязательство перевести вашу статью на другой язык. Оплата за публикацию статьи не берется. Все статьи публикуются бесплатно после научного рецензирования.

2.3. Сокращения

Следует использовать стандартные сокращения. При первом использовании нестандартного сокращения, должно быть представлено его полное определение.

3. РИСУНКИ И ГРАФИКИ

3.1. Подготовка рисунков

Рисунки должны быть представлены в окончательном размере так, чтобы не требовалось их редактирование. Автор отвечает за внешний вид рисунков.

- Рисунки должны быть в пределах одной колонки (8,3 см) или двойной колонки (17,1 см), но не выше 23,3 см.

Сообщения должны содержать изложение существенно новых результатов, методов применения, представляющих общий интерес, или целенаправленных исследований, требующих закрепления приоритета.

1.2.1. Текст

В письмах в редакцию не используются заголовки частей. Дозволяются краткие детали экспериментов, но не включаются длинные многословные введения и обсуждения, избыточные экспериментальные детали, догадки и предположения. Необходимо экспериментальное доказательство, снабженное ссылками, чтобы оценить работу и для дальнейшей ее публикации в отдельном сопроводительном файле.

1.2.2. Графики и таблицы

Графиков и таблиц не должно быть много, только те, которые важны для понимания смысла информации.

1.3. Обзоры

Авторы, желающие опубликовать обзорную или мини-обзорную статью, должны предварительно согласовать с редакцией ее тематику, представив развернутую (1–2 страницы) аннотацию, содержащую сведения об основных разделах обзора, временном периоде охвата литературы и предыдущих обзорах по данной теме.

Обзор должен быть всеобъемлющим, критическим и описывать новейшие исследования.

2.4. Использование курсивов

Иностранные слова и фразы, латинские аббревиатуры даются курсивом, например, *in toto*, *in vivo*, *ca.*, *cf.*, *i.e.* В названиях химических соединений или радикалов курсивы используют для приставок (отличающихся от номеров или символов) когда они определяют положения названных заместителей или когда они определяют стереоизомеры: другие приставки печатаются на латинице. (Заметим: начальные заглавные буквы не используются с курсивными приставками или приставками с одной буквой: пунктуация не связана с буквенными приставками.) Например, *o*-, *m*- и *p*-нитротолуол, но *ortho*-, *meta*- и *para*- соединения (*o*-, *m*- и *p*- используются только для специальных названий; *ortho*-, *meta*- и *para*- используются для класса соединений), *N,N*-диметиланилин, *trans*- и *cis*-bis(глициinato)платинум(II), *gem*- и *vic*-диолы, бензил *anti*-оксим.

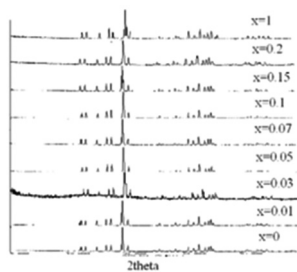
Названия журналов и их сокращения даются курсивом.

- Графические рисунки не должны быть более чем 8×4 см.

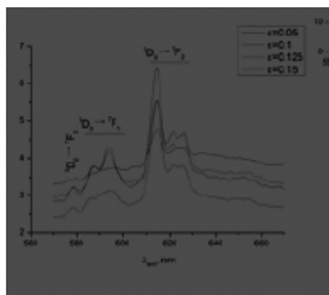
- Схемы и структуры должны быть нарисованы так, чтобы можно было использовать одинарную и двойную ширину колонки.

3.1.1. Графики

i) плохие примеры



Пример А



Пример В

Оба примера выше (А и В) нельзя хорошо воспроизвести из-за следующих проблем:

- Пример А не обеспечивает хорошего разрешения и размера, потому что является неясным и расплывчатым в печатном варианте статьи.

- Пример В:

- желтые линии не воспроизводятся четкими;
- красные и зеленые – это плохой выбор, с низкой видимостью, для людей, плохо различающих цвета;
- в графиках лучше использовать прерывистые, пунктирные и точечные линии, чем выделение цветом;
- надо избегать бледных, перекрывающих линий и необычных шрифтов.

Кроме того, графики должны быть получены с использованием соответствующих графических компьютерных программ.

ii) хороший пример

Пример С

Пример С будет воспроизводиться хорошо:

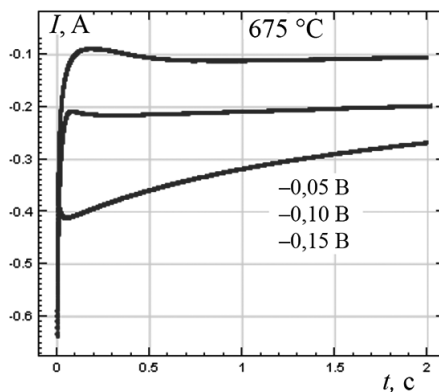
- изображение является четким и ясным для читателя и обеспечивает правильный размер (одиночная колонка (8,3 см) или двойная колонка (17,1 см) шириной);

- линии должны быть черными, адекватными, достаточной толщины и кривые плавными;

- пунктирные, прерывистые и точечные линии и простые геометрические символы использовать лучше, чем цветные;

- написание букв в графиках должно быть четким, достаточного размера (например, шрифт Arial, размер 10, или Helvetica, если Arial невозможен);

- формат единиц измерения на графиках должен соответствовать условным обозначениям УРАС и используемым в статье.



Пример С

3.2. Фотографии

- Фотографии должны быть хорошего разрешения (минимум 300 dpi) разумного размера (не таким, как фото А). Личные фотографии должны быть 4 × 5 см. Все другие фотографии должны соответствовать размерам рисунков (см. раздел 3.1).

- Представление черно-белых фотографий желательнее, чем цветных.

Цветные фотографии будут представлены только в электронном варианте статьи.

3.3. Химические структуры

Структурная формула должна быть идеально нарисована с использованием химических компьютерных программ (например, ChemDraw, ChemWindows, ISIS/Draw), аналогичные как для журналов Royal Society Chemistry (Apply Document Setting по умолчанию RSC).



Фото А

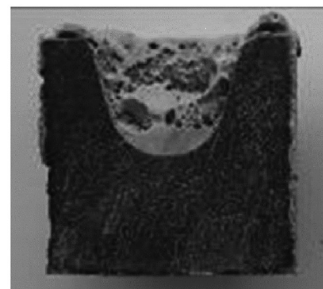


Фото В

3.4. Представление рентгеноструктурного анализа

Данные рентгеноструктурного исследования следует представлять в виде рисунка молекулы с пронумерованными атомами, например C(1), N(3) (по возможности в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний). Полные кристаллографические данные, таблицы координат атомов, длин

связей и валентных углов температурные факторы, в журнале не публикуются, а депонируются в Кембриджском банке структурных данных (в статье указывается регистрационный номер депонента) или приводятся в файле сопроводительной информации.

3.5. Цветные рисунки

Цветные рисунки будут представлены только в электронном варианте статьи.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

4.1. Основное руководство

Ответственность авторов обеспечить наиболее полно доказательство индивидуальности и идентификации всех соединений, которые они заявляют как новые или известные соединения, но полученные новым методом. Доказательство чистоты и индивидуальности необходимы, чтобы установить, что описанные свойства и константы именно те, что у нового соединения с заявленной структурой. Соединения рассматриваются как новое (а), если оно не было получено ранее, (б) если оно было получено ранее, но плохо очищено, (с) если оно было очищено, но не адекватно охарактеризовано, (д) если ранее ему была приписана ошибочная структура или (е) если это природный продукт, выделенный или охарактеризованный в первый раз.

Для всех впервые синтезированных соединений необходимо привести доказательства приписываемого им строения и данные, позволяющие судить об их индивидуальности и степени чистоты. В частности, должны быть представлены данные элементного анализа или масс-спектры высокого разрешения и спектры ЯМР ^1H и ^{13}C . Для известных веществ, синтезированных опубликованным ранее методом, должна быть приведена ссылка на литературные данные. Для известных веществ, полученных новыми или модифицированными методами, должны быть представлены их физические и спектральные характеристики, использованные для подтверждения идентичности структуры, метод синтеза и ссылка на литературные данные.

4.2. Характеристика в рамках химической биологии

Когда соединения синтезируются для испытания в биологических системах, должно быть обеспечено достаточное доказательство чистоты и идентичности, такое, чтобы результаты эксперимента были правдивы.

Авторы должны дать строгое доказательство чистоты и идентификации описанных биомолекул. Методы, применяемые для идентификации: масс-спектрометрия, LC-MS, данные последовательности (для белков и олигонуклеотидов), высокого разрешения ^1H или ^{13}C ЯМР, X-ray кристаллография. Чистота должна быть установлена одним или более методами: HPLC, гель электрофорезом, капиллярным электрофорезом, высокого разрешения ^1H или ^{13}C ЯМР. Контроль последовательности также необходим в случае нуклеиновых кислот, включая молекулярную биологию.

4.3. Изложение экспериментальных данных

Данные для индивидуальных соединений должны быть после его названия, следуя за описанием его получения. *Вот порядок, в котором должны быть приведены наиболее общие данные для нового соединения:* выход, температура плавления, оптическое вращение, показатель преломления, элементный анализ, УФ, ИК, ЯМР спектр, масс-спектр. Соответствующие образцы для цитирования каждого следующие.

4.3.1. Выход

В круглых скобках после названия соединения (или его эквивалента). Вес и процент разделяются запятой, например the lactone (7.1 г, 56 %).10

4.3.2. Температура плавления

В виде mp 75 °C (из EtOH), например растворитель для кристаллизации в круглых скобках.

4.3.3. Оптическое вращение

Единицы измерения должны быть указаны в начале экспериментальной части, например $[\alpha]_D$ значения даны в 10^{-1} град. $\text{см}^2 \text{г}^{-1}$. Показаны в виде $[\alpha]_D^{22} -22.5$ (с 0.95 в EtOH), например, концентрация и растворитель в круглых скобках.

4.3.4. Показатель преломления

Дан в виде $n_D^{22} 1.653$.

4.3.5. Элементный анализ

Для описания элементного анализа подходят обе формы (Найдено: C, 63.1; H, 5.4. $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{NO}_4$ необходимо C, 63.2; H, 5.3 %) и (Найдено: C, 62.95; H, 5.4. Вычислено для $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{NO}_4$: C, 63.2; H, 5.3 %). Для идентификации новых соединений точность анализа в пределах ± 0.3 %, и в особых случаях, в пределах ± 0.5 %, если включен молекулярный вес, то соответствующая форма такая: [Найдено: C, 63.1; H, 5.4 %; M (масс-спектр), 352 (или просто M^+ , 352). $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{NO}_4$ необходимо C, 63.2; H, 5.3 %; M, 352].

4.3.6. УФ-спектр

Даны в виде λ_{max} (EtOH)/nm 228 ($\epsilon/\text{мл моль}^{-1} \text{см}^{-1}$ 40 900), 262 (19 200) и 302 (11 500). Перегибы и плечи обозначаются как 228inf1 or 262sh. Альтернативно может быть использована и следующая форма: λ_{max} (EtOH)/nm 228, 262 и 302 ($\epsilon/\text{мл моль}^{-1} \text{см}^{-1}$ 40 900, 19 200 и 11 500). $\log \epsilon$ может быть вместо ϵ .

4.3.7. ИК-спектр

Как следующее: $\nu_{\text{max}}/\text{см}^{-1}$ 3460 и 3330 (NH), 2200 (conj. CN), 1650 (CO) and 1620 (CN). Вид сигнала (s, w, vs, br) может быть показан добавляемыми буквами (например, 1760vs).

4.3.8. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C ПМР

Должны быть указаны рабочая частота прибора, использованный стандарт и растворитель. Если для

спектров ЯМР в качестве стандарта используется не ТМС, следует указать химический сдвиг стандарта в шкале δ .

Для всех спектров должны быть использованы значения δ , с указанием подстрочно ядер, если необходимо (например, δ_{H} , δ_{C}). Обозначения констант связывания должны быть даны в начале экспериментальной части, например, J значения даны в Hz. Например: δ_{H} (100 MHz; CDCl_3 ; Me_4Si) 2.3 (3 H, s, Me), 2.5 (3 H, s, COMe), 3.16 (3 H, s, NMe) и 7.3–7.6 (5 H, m, Ph). Широкий сигнал может быть записан как br, например 2.43 (1 H, br s, NH). Для обозначения положения атомов водорода следует использовать обозначения типа H-3, H-2.6 (для ароматических протонов) или 3-CH, 4,5-CH₂ (для алифатических протонов). Протоны в составе сложных групп, к которым относится сигнал, следует подчеркнуть снизу – 3.17–3.55 (4H, m, $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_2$); для положения заместителей использовать обозначения 3-CH₃; для обозначения положения атомов – C-3, N-4 и т. д. Если какой-либо сигнал в спектре описывается как дублет, триплет, дублет дублетов и т. п. (а не синглет или мультиплет), необходимо привести соответствующие КССВ. Если проведены дополнительные исследования для установления строения или пространственных взаимодействий атомов, должны быть указаны использованные двумерные методы. В описании спектров ЯМР ¹³C отнесение конкретного сигнала к конкретному атому углерода приводится только тогда, когда определение проведено на основании двумерных экспериментов.

5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ, ЗАМЕЧАНИЯ И СНОСКИ

Список использованной литературы нумеруется в порядке упоминания в тексте и печатается с указанием инициалов и фамилий всех авторов, недопустима фраза et al. Все ссылки даются в оригинальной транскрипции.

Пожалуйста, используйте *Vancouver reference style* для ссылок.

5.1. Журналы

Стиль аббревиатур журнала, используемых в публикациях, определен в Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI). See <http://www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html>.

Если вы не можете определить авторскую аббревиатуру для журнала или не очевидно, какой должна быть аббревиатура названия, пожалуйста, цитируйте полное название.

Библиографические данные цитируются по порядку: год, том, страница. Обязательно приводится номер DOI (Digital Object Identifier) (при наличии), например:

1. Moczy J., Pukanszky B. Polymer micro and nanocomposites: Structure, interactions, properties (Review). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2008;14(5):535–563. DOI: 10.1016/j.jiec.2008.06.011.

Примеры записи

Спектр ЯМР ¹H (400 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J , Гц): 0.97 (3H, t, $J = 7.0$, CH_3); 3.91 (2H, k, $J = 7.0$, COOCH_2); 4.46 (2H, d, $J = 6.1$, NCH_2); 7.10–7.55 (9H, m, H-6,7,8, $\text{NHCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$); 7.80 (1H, c, H Ar); 7.97 (1H, c, H-5'); 8.13 (1H, d, $J = 8.2$, $J = 2.3$, H-5); 11.13 (1H, c, NH). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, DMCO-d_6), δ , м. д. (J , Гц): 36.3 (CH_2CH_3); 48.5 (C-5); 62.3 (CH_2CH_3); 123.0 (C Ar); 125.8 (d, $2J_{\text{CF}} = 26.1$, C-3',5' Ar); 128.9 (C Ph); 134.4 (C-5a); 168.3 (C=O).

4.3.9. Данные масс-спектрометрии

Даются в виде: m/z 183 (M^+ , 41%), 168 (38), 154 (9), 138 (31) и т. д. Молекулярный ион может быть определен как показано. Сравнительные интенсивности в круглых скобках (% только один раз включено). Другие группы могут быть включены в виде m/z 152 (33, M – CH_3CONH_2). Метастабильные пики могут быть написаны так: $M^+ 160$ (189→174), 147 (176→161) и т. д. Должен быть указан тип спектра (field desorption, electron impact, и т. д.). Точные массы, необходимые для целей идентификации, должны быть в пределах 5 ppm (EI и CI) или 10 ppm (FAB или LSIMS).

4.3.10. Литературные ссылки

Должно быть сравнение с литературными значениями в круглых скобках, например mp 157 °C (из хлороформа) (лит.¹⁹ 156 °C), или ν_{max} /cm⁻¹ 2020 и 1592 (лит.²⁴ 2015 и 1600).

4.3.11. Эксперименты, включающие микроорганизмы

Для работ, включающих микроорганизмы, достаточно детально нужно идентифицировать используемые виды.

5.2. Книги

J. Barker, in *Catalyst Deactivation*, ed. B. Delmon and C. Froment, Elsevier, Amsterdam, 2nd edn., 1987, vol. 1, ch. 4, pp. 253–255.

5.3. Патенты

Br. Pat., 357 450, 1986. US Pat., 1 171 230, 1990.

5.4. Сообщения, бюллетени и т. д.

R. A. Allen, D. B. Smith and J. E. Hiscott, *Radioisotope Data*, UKAEA Research Group Report AERE-R 2938, H.M.S.O., London, 1961.

5.5. Материалы, представленные на конференциях

H. C. Freeman, *Proceedings of the 21st International Conference on Coordination Chemistry*, Toulouse, 1980.

5.6. Диссертация

A. D. Mount, Ph.D. Thesis, University of London, 1977.

5.7. Ссылки на неопубликованный материал

Для материалов, представленных на конференциях, конгрессах и т. д., но не опубликованных, используется следующая форма.

A. R. Jones. Presented in part at the 28th Congress of the International Union of Pure and Applied Chemistry, Vancouver, August, 1981.

Для материалов, одобренных для публикации, но еще неопубликованных, используется следующая форма:

A. R. Jones. *Dalton Trans.*, 2003. DOI: 10.1039/manuscript number.

Если DOI известны, они должны быть приведены.

Для материалов, представленных на рассмотрение, но пока не принятых, используется следующая форма:

A. R. Jones, *Angew. Chem.*, submitted.

Для персональных сообщений:

G. V. Ball, personal communication.

Если материал должен быть опубликован и уже рассмотрен, следующая форма используется:

G. V. Ball, unpublished work.

Ссылка на неопубликованную работу не должна

быть без разрешения тех, кто выполнял данную работу.

5.8. Программное обеспечение

F. James, AIM2000, version 1.0, University of Applied Sciences, Bielefeld, Germany, 2000.

T. Bellander, M. Lewne and B. Brunekreef, GAUSSIAN 3 (Revision B.05), Gaussian Inc., Pittsburgh, PA, 2003.

5.9. Online-источник (включая базы данных)

Пожалуйста, отмечайте наиболее важную информацию, включающую ГКД и базы данных.

1. The Merck Index Online, <http://www.rsc.org/Merck-Index/monograph/mono1500000841>, (accessed October 2013).

2. ChemSpider, <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.1906.html>, (accessed June 2011).

Preparing your article for submission

1. ORGANISATION OF MATERIAL

Presented instructions for authors are similar to ones for RSC journals.

Article templates can be found at: <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/guidelines/AuthorGuidelines/AuthoringTools/Templates/index.asp>

1.1. Full papers

Publication should be written briefly, carefully edited by the authors, it should include all the necessary parts, and be easily comprehensible, and study results should be clearly intelligible and reproducible.

The journal is bilingual (English and Russian). Authors can submit a paper in one language only, except for certain items listed below. Editorial board takes the responsibility for translating your article into another language. Payment for the publication of a paper is not taken. All papers are published at no charge to the authors after scientific review.

1.1.1. Title

The text of the manuscript begins with the title of the paper, which should attract the maximum reader's attention, fully and accurately describe the content of the article, but at the same time be short and clear. Lengthy systematic names and complicated and numerous chemical formulae should therefore be avoided where possible. The use of abbreviations in a title should be avoided as well. If the publication is a serial communication, its title is complemented by a footnote (to the serial number of the communication), giving reference to the preceding work, for example "Communication 8 see 1". Serial communications are numbered in Arabic numerals.

1.1.2. Author names

Full names for all the authors of an article (in Russian and English transcription) should be given. To give due acknowledgement to all workers contributing to the work, those who have contributed significantly to the research should be listed as co-authors. On submission of the manuscript, the corresponding author attests to the fact that those named as co-authors have agreed to its submission for publication and accepts the responsibility for having properly included all (and only) co-authors. The corresponding author signs a copyright licence on behalf of all the authors.

1.1.3. Table of contents entry

This entry may include a colour image (figure, graphic) (no larger than 8 cm wide and 4 cm high), and 20–30 words of text that highlight the main aspects of your work.

Graphics should be as clear as possible, simple schematic diagrams or reaction schemes are preferred to ORTEP-style crystal structure depictions and complicated graphs. All lettering on the image should be written in English.

1.1.4. Abstract

Every paper must be accompanied by a summary (120–250 words) setting out briefly and clearly the main

objects and results of the work; it should give the reader a clear idea of what has been achieved. The summary should be essentially independent of the main text; however, names, partial names or formulae of compounds may be accompanied by the numbers referring to the corresponding displayed formulae in the body of the text. Please bear in mind that readers increasingly use search engines (keywords) to find literature; recognisable, searchable terms and keywords (presented in Russian and English) should be included in the abstract to enable readers to more effectively find your paper. The abstract should not include any experimental data, abbreviations and references to literature.

1.1.5. Introduction

In first paragraphs of the main text known literary information on the research question is briefly discussed, attention to the importance of this field of knowledge in the context of reader's interests is drawn. Further disadvantages of the known methods, which are important for eliminating, are defined, and the prospects offered in the case of successful problem solving are outlined. The introduction should clearly and briefly, with relevant references identify the goal, the relevance of research, the problem and ways to resolve it.

1.1.6. Results and discussion

Then it is necessary to discuss and explain the results obtained in the research, to analyze the synthesis features, demonstrate and discuss possible limitations. The text summarizes and explains only those spectral data which are used to confirm the structure of the compounds obtained. Recitation of the same data in the text, tables and figures is not allowed. For new methods of synthesis, it is desirable to discuss the reaction mechanism. The main text of the paper concludes with brief conclusions that should not repeat the abstract.

1.1.7. Experimental

Instruments used for obtaining physicochemical characteristics of the substances should be provided at the beginning of the experimental section, sources of the nontrivial reagents used should be specified (e.g., "commercial preparations, name of the company") or references for their synthesis should be given. Each paragraph of the experimental section describing the preparation of the particular compound should contain its full name according to IUPAC rules and its serial number. Adequate evidence of the structure attributed to newly synthesized compounds and data confirming the identity and degree of purity of these compounds should be presented. For known substances synthesized by previously published method a link to the published data should be provided. If, in the opinion of the reviewer or editor, the new compounds have not been adequately characterized, the article will not be accepted for publication. The editor can take an article that does not contain all the required

physicochemical parameters of the new compounds, if he believes that the given data are sufficient.

1.1.8. Conclusion

This is necessary for interpretation and to highlight the novelty and significance of the work. The conclusion should *not* summarise information already present in the text or abstract.

1.1.9. Acknowledgements

Contributors other than co-authors may be acknowledged in a separate paragraph at the end of the paper; acknowledgements should be as brief as possible. All sources of funding should be declared.

1.1.10. Dedications

Personal dedications of an appropriate nature may be included as a footnote to the title of the paper. Dedications for significant birthdays (from 60 years onwards) and *in memoriam* dedications would be considered appropriate. Other forms of dedication should be approved by the chief editor.

1.1.11. Bibliographic references and notes

These should be listed at the end of the manuscript in numerical order.

1.2. Communications

Communications should contain a summary of substantially new results, application methods, of common

interest or task-oriented research that require establishing priority.

1.2.1. Text

No section headings are used in Communications. Brief details of key experiments are permitted but lengthy introductions and discussion, extensive data, and excessive experimental details and conjecture should not be included. The experimental evidence supplied by references is necessary for the assessment of the work and for eventual publication in a separate supplementary file.

1.2.2. Figures and tables

Figures and tables should be kept to a minimum and only those which are essential to understanding the Communication.

1.3. Reviews

Authors wishing to publish a review or a mini-review paper, should prior approve its topic with the editorial board of, presenting a detailed (1–2 pages) annotation containing information on the main sections of the review, a time period coverage of literature and previous reviews on the topic.

The review should be comprehensive, critical and describe the latest research.

2. STYLE AND PRESENTATION

2.1. Brevity

Papers should be written clearly and concisely. Repetition or embellishment with unnecessary words or phrases is not allowed. Excessive use of diagrams and duplication of data in text, tables and figures is discouraged.

2.2. Language

The journal is bilingual (English and Russian). Authors can submit a paper in one language only, except for certain items listed below. Editorial board takes the responsibility for translating your article into another language. Payment for the publication of a paper is not taken. All papers are published at no charge to the authors after scientific review.

2.3. Abbreviations

The use of common or standard abbreviations is encouraged. If non-standard abbreviations must be used these should be defined at the first use.

3. FIGURES AND GRAPHICS

3.1. Preparation of figures and graphics

Artwork should be submitted at its final size so that reduction is not required. The appearance of graphics is the responsibility of the author.

- Figures and graphics should fit within either single column (8.3 cm) or double column (17.1 cm) width, and must be no longer than 23.3 cm.
- Graphical abstracts should be no larger than 8 × 4 cm.
- Schemes and structures should be drawn to make best use of single and double column widths.

3.1.1. Graphs

i) bad examples

2.4. Use of italics

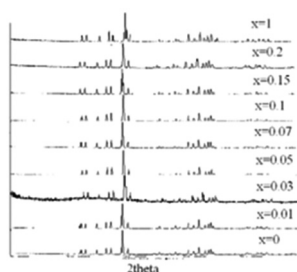
Foreign words and phrases and Latin abbreviations are given in italics: *e.g.*, *in toto*, *in vivo*, *ca.*, *cf.*, *i.e.*

In the names of chemical compounds or radicals italics are used for prefixes (other than numerals or symbols) when they define the positions of named substituents, or when they define stereoisomers: other prefixes are printed in roman. (*Note*: Initial capital letters are not to be used with italic prefixes or single-letter prefixes: full stops are not to be associated with letter prefixes.) For example, *o*-, *m*- and *p*-nitrotoluenes, but *ortho*-, *meta*- and *para*- compounds (*o*-, *m*- and *p*- are used only with specific names; *ortho*-, *meta*- and *para*- are used with classes), *N,N*-dimethylaniline, *trans*- and *cis*-bis(glycinato)platinum(II), *gem*- and *vic*-diols, benzil *anti*-oxime.

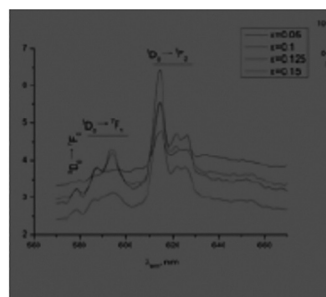
The names of journals or their abbreviations are set in italics.

Both examples above (A and B) will not reproduce well due to the following problems:

- Example A has not been provided at the required resolution and size so it will appear unclear and blurry in the final paper.
- Example B:
 - yellow lines will not appear faint
 - red and green are bad choices, with low visibility, particularly to colour-blind people
 - in graphs, broken, dashed and dotted lines should be used rather than colour
 - faint writing, overlapping writing and unusual fonts should be avoided
- ii) good example



Example A



Example B

Example C will reproduce well:

- Image is legible and clear to the reader as it has been provided at the correct size [single column (8.3 cm) or double column (17.1 cm) width].

- Lines should be black, of an adequate and even thickness (e.g. 1 pt) and curves should be smooth.

- Broken, dashed, dotted lines and simple geometric symbols: such as should be used rather than colour.

- Lettering used in graphics should be legible at the required size (e.g. 7 point Arial font or Helvetica if Arial is unavailable).

- The format of units in graphics should conform to IUPAC convention and be consistent with those used in the paper.

3.2. Photographs

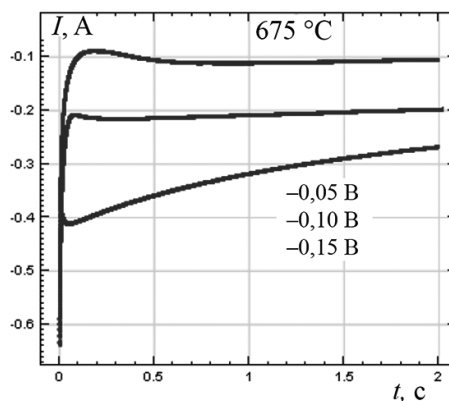
- Photographs should be provided at the best resolution available (minimum 300 dpi) at a reasonable size (unlike Photo A). Biography photographs should be 40 mm × 50 mm. All other photographs should conform to the regular figure sizes (see section 3.1).

- Reproduction of black and white photos is far superior to that of colour photos.

Colour photos reproduction will be provided only online.

3.3. Chemical Structures

Structural formulae should ideally be prepared with chemistry drawing software (e.g. ChemDraw, ChemWindows, ISIS/Draw), similar to Royal Society Chemistry journals (Apply as Document Setting default RSC).



Example C

3.4. Crystal structure images

The data of X-ray analysis should be presented as a picture of the molecule with numbered atoms, for example C(1), N(3) (to present atoms as ellipsoids of the thermal vibrations if possible). Complete crystallographic data, tables of atomic coordinates, bond lengths and valent angles, temperature factors will not be published in the journal, and are deposited in the Cambridge structural data bank (the registration number of deposited structure should be indicated in the paper) or are presented in the supplementary file.



Photo A

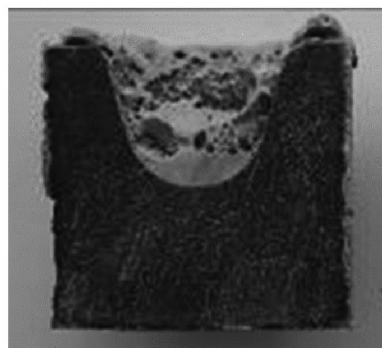


Photo B

3.5. Colour figures

Colour figure reproduction will be provided only online.

4. CHARACTERISATION OF NEW COMPOUNDS

4.1. General guidance

It is the responsibility of authors to provide fully convincing evidence for the homogeneity and identity of all compounds they claim as new, or known compounds made by a new method. Evidence of both purity and identity is required to establish that the properties and constants reported are those of the compound with the new structure claimed.

A compound is considered as new (a) if it has not been prepared before, (b) if it has been prepared before but not adequately purified, (c) if it has been purified but not adequately characterized, (d) if, earlier, it has been assigned an erroneous constitution, or (e) if it is a natural product isolated or synthesized for the first time.

For all newly synthesized compounds it is necessary to provide evidence of the structure attributed to and data confirming the identity and degree of purity of these compounds. In particular, the elemental analytical data or high-resolution mass spectra as well as ^1H or ^{13}C NMR spectra should be presented. For known substances synthesized using previously published methods a link to the published data should be given. For known substances obtained by new or modified methods their physical and spectral characteristics used to confirm the identity of the structure, method of synthesis and the reference to the literature data should be presented.

4.2. Characterisation within chemical biology

Where compounds are synthesised for testing in biological systems, sufficient evidence for purity and identity must be provided such that the results of the experiment may be trusted.

Authors should provide rigorous evidence for the identity and purity of the biomolecules described. The techniques that may be employed to substantiate identity include mass spectrometry, LC-MS, sequencing data (for proteins and oligonucleotides), high field ^1H or ^{13}C NMR, X-ray crystallography. Purity must be established by one or more of the following: HPLC, gel electrophoresis, capillary electrophoresis, high field ^1H or ^{13}C NMR. Sequence verification also needs to be carried out for nucleic acid cases involving molecular biology.

4.3. Presentation of experimental data

Data associated with particular compounds should be listed after the name of the compound concerned, following the description of its preparation. *The following is suggested as the order in which the most commonly encountered data for a new compound should be cited:* yield, melting point, optical rotation, refractive index, elemental analysis, UV absorptions, IR absorptions, NMR spectrum, mass spectrum. Appropriate formats for the citation of each are as follows.

4.3.1. Yield

In parentheses after the compound name (or its equivalent). Weight and percentage are separated by a comma, e.g. the lactone (7.1 g, 56 %).

4.3.2. Melting point

In the form mp 75 °C (from EtOH), i.e. the crystallization solvent in parentheses. If an identical mixed melting point is to be recorded, the form mp and mixed mp 75 °C is appropriate.

4.3.3. Optical rotation

The units should be stated in the preamble to the Experimental section, e.g. $[\alpha]_{\text{D}}$ values are given in 10^{-1} deg $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. Shown in the form $[\alpha]_{\text{D}}^{22} - 22.5$ (c 0.95 in EtOH), i.e. concentration and solvent in parentheses.

4.3.4. Refractive index

Given in the form n_{D}^{22} 1.653.

4.3.5. Elemental analysis

In the presentation of elemental analyses, both forms (Found: C, 63.1; H, 5.4. $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{NO}_4$ requires C, 63.2; H, 5.3 %) and (Found: C, 62.95; H, 5.4. Calc. for $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{NO}_4$: C, 63.2; H, 5.3%) are acceptable. For identification purposes for new compounds, an accuracy to within $\pm 0.3\%$ is expected, and in exceptional cases, to within $\pm 0.5\%$ is required. If a molecular weight is to be included, the appropriate form is: [Found: C, 63.1; H, 5.4%; M (mass spectrum), 352 (or simply M+, 352). $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{NO}_4$ requires C, 63.2; H, 5.3%; M, 352].

4.3.6. UV absorptions

These are given in the form λ_{max} (EtOH)/nm 228 ($\epsilon/\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ 40 900), 262 (19 200) and 302 (11 500). Inflections and shoulders are specified as 228inlf or 262sh. Alternatively the following form may be used: λ_{max} (EtOH)/nm 228, 262 and 302 ($\epsilon/\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ 40 900, 19 200 and 11 500). $\log \epsilon$ may be quoted instead of ϵ .

4.3.7 IR absorptions

As follows: ν_{max} / cm^{-1} 3460 and 3330 (NH), 2200 (conj. CN), 1650 (CO) and 1620 (CN). The type of signal (s, w, vs, br) can be indicated by appended letters (e.g. 1760vs).

4.3.8 NMR data

Instrument frequency, solvent, and standard should be specified. If the used standard for NMR spectra is not TMS, the chemical shift of such standard should be indicated.

For all spectra δ values should be used, with the nucleus indicated by subscript if necessary (e.g. δ_{H} , δ_{C}). A statement specifying the units of the coupling constants should be given in the preamble to the Experimental section, e.g. J values are given in Hz. For example: δ_{H} (100 MHz; CDCl_3 ; Me_2Si) 2.3 (3 H, s, Me), 2.5 (3 H, s, COMe), 3.16 (3 H, s, NMe) and 7.3–7.6 (5 H, m, Ph). A broad signal may be denoted by br, e.g. 2.43 (1 H, br s, NH). To indicate the position of the hydrogen atoms notations as H-3, H-2,6 (for aromatic protons) or 3-CH, 4,5-CH2 (for aliphatic protons) should be used. Protons in complex groups to which a signal can be assigned should be underlined as 3.17–3.55 (4H, m, N (CH_2CH_2)); for the indication of substituents position notations as 3- CH_3 should be used; to specify the position of atoms

indications as C-3, N-4 should be used, and so on. If any signal in a spectrum is described as a doublet, a triplet, a doublet of doublets and so on (rather than a singlet or multiplet) it is necessary to provide corresponding spin-spin coupling constant (SSCC). If additional research to determine the structure or spatial interactions of atoms were conducted two-dimensional methods used should be specified. In the ¹³C NMR spectra assignment of particular signal to a specific carbon atom is provided only when the determination was carried out on the basis of two-dimensional experiments.

Examples of record:

¹H NMR (400 MHz, CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 0.97 (3H, t, *J* = 7.0, CH₃); 3.91 (2H, q, *J* = 7.0, COOCH₂); 4.46 (2H, d, *J* = 6.1, NCH₂); 7.10–7.55 (9H, m, H-6,7,8, NHCH₂C₆H₅); 7.80 (1H, s, H Ar); 7.97 (1H, c, H-5⁻); 8.13 (1H, d, D, *J* = 8.2, *J* = 2.3, H-5); 11.13 (1H, s, NH).

¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆), δ , ppm (*J*, Hz): 36.3 (CH₂CH₃); 48.5 (C-5); 62.3 (CH₂CH₃); 123.0 (C Ar);

125.8 (d, 2JCF = 26.1, C-3', 5' Ar); 128.9 (C Ph); 134.4 (C-5a); 168.3 (C = MO).

4.3.9. Mass spectrometry data

Given in the form: *m/z* 183 (M⁺, 41%), 168 (38), 154 (9), 138 (31) etc. The molecular ion may be specified as shown. Relative intensities in parentheses (% only included once). Other assignments may be included in the form *m/z* 152 (33, M – CH₃CONH₂). Metastable peaks may be listed as: M^{*} 160 (189→174), 147 (176→161), etc. The type of spectrum (field desorption, electron impact, etc.) should be indicated. Exact masses quoted for identification purposes should be accurate to within 5 ppm (EI and CI) or 10 ppm (FAB or LSIMS).

4.3.10. Literature citations

Comparison with literature values should be quoted in parentheses, e.g. mp 157 °C (from chloroform) (lit.,¹⁹ 156 °C), or v_{\max} /cm⁻¹ 2020 and 1592 (lit.,²⁴ 2015 and 1600).

4.3.11. Experiments involving microorganisms

For work involving microorganisms, sufficient detail should be provided to identify the species being used.

5. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES, NOTES AND FOOTNOTES

The references numbered in order of appearance in the text and are printed with the names and initials of all authors, the phrase et al. is unacceptable. All references are given in the original transcription.

Please use *Vancouver reference style* for references.

5.1. Journals

The style of journal abbreviations to be used in publications is that defined in Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI). See <http://www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html>.

If you cannot locate an authoritative abbreviation for a journal, and if it is not obvious how the title should be abbreviated, please cite the full title.

Bibliographic details should be cited in the order: year, volume, page.

DOI (Digital Object Identifier) (if available) should be provided, e.g.

1. Moczko J., Pukanszky B. Polymer micro and nanocomposites: Structure, interactions, properties (Review). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2008;14(5):535–563. doi: 10.1016/j.jiec.2008.06.011.

5.2 Books

J. Barker, in *Catalyst Deactivation*, ed. B. Delmon and C. Froment, Elsevier, Amsterdam, 2nd edn., 1987, vol. 1, ch. 4, pp. 253–255.

5.3. Patents

Br. Pat., 357 450, 1986. *US Pat.*, 1 171 230, 1990.

5.4. Reports and bulletins, etc.

R. A. Allen, D. B. Smith and J. E. Hiscott, *Radioisotope Data*, UKAEA Research Group Report AERE-R 2938, H.M.S.O., London, 1961.

5.5. Material presented at meetings

H. C. Freeman, Proceedings of the 21st International Conference on Coordination Chemistry, Toulouse, 1980.

5.6. Theses

A. D. Mount, Ph.D. Thesis, University of London, 1977.

5.7. Reference to unpublished material

For material presented at a meetings, congresses, etc., but not published, the following form is used:

A. R. Jones, presented in part at the 28th Congress of the International Union of Pure and Applied Chemistry, Vancouver, August, 1981.

For material accepted for publication, but not yet published, the following form is used:

A. R. Jones, *Dalton Trans.*, 2003, DOI: 10.1039/manuscript number

If DOI numbers are known these should be cited.

For material submitted for publication but not yet accepted the following form is used:

A. R. Jones, *Angew. Chem.*, submitted.

For personal communications the following is used:

G. B. Ball, personal communication.

If material is to be published but has yet to be submitted the following form is used:

G. B. Ball, unpublished work.

Reference to unpublished work should not be made without the permission of those by whom the work was performed.

5.8. Software

F. James, AIM2000, version 1.0, University of Applied Sciences, Bielefeld, Germany, 2000.

T. Bellander, M. Lewne and B. Brunekreef, GAUSS-IAN 3 (Revision B.05), Gaussian Inc., Pittsburgh, PA, 2003.

5.9. Online resources (including databases)

Please note the most important information to include is the URL and the data accessed.

1. The Merck Index Online, <http://www.rsc.org/Merck-Index/monograph/mono1500000841>, (accessed October 2013).

2. ChemSpider, <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.1906.html>, (accessed June 2011).

Editor-in-Chief
Yu. Yu. Morzherin (Russia)

Advisory Board
I. S. Antipin (Russia)
Zh.-J. Fan (China)
A. Ivanov (Russia)
V. Ostrovskii (Russia)
J. Subbotina (Canada)
A. Zaitsev (UK)
M. Zinigrad (Israel)

Production Editor
A. Yu. Platonova

Managing Editor
T. A. Pospelova

Founded by Ural Federal University
named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
51, Lenin Av., 620083, Ekaterinburg, Russia

Journal Registration Certificate
PI № FS 77-56172 as of 15.11.2013

Address of Journal
Office X-268, Mira Str.,
620000, Ekaterinburg, Russia
E-mail: yu.yu.morzerin@urfu.ru

Format 70×100/16.
Circulation 100 cop.

Publisher – Ural Federal University
Publishing Centre
4, Turgenev St., 620000 Ekaterinburg, Russia
Phone: +7 343 350 56 64, +7 343 350 90 13
Fax: +7 343 358 93 06
E-mail: press-urfu@mail.ru

International journal
Chimica Techno Acta
(Process in chemistry and
chemical technology)
issued in Russia

© Ural Federal University,
2015

Международный журнал
Chimica Techno Acta
(«Процессы в химии
и химической технологии»)
издается в России

© Уральский федеральный
университет, 2015

Главный редактор

Ю. Ю. Моржерин (Россия)

Редакционный совет

И. С. Антипин (Россия)
А. В. Зайцев (Великобритания)
М. И. Зиниград (Израиль)
А. В. Иванов (Россия)
В. А. Островский (Россия)
Ю. О. Субботина (Канада)
Ж.-Дж. Фан (Китай)

Научный редактор номера

А. Ю. Платонова

Зав. редакцией

Т. А. Поспелова

Учредитель – Уральский федеральный
университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина
620083, Россия, Екатеринбург,
пр. Ленина, 51

Редактор *Крамаревская Е. Е.*
Художник-оформитель *Даурова Е. Р.*
Верстальщик *Матвеев В. К.*

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-56172 от 15.11.2013

Адрес журнала:
Россия, 620000,
Екатеринбург, ул. Мира, 28, оф. X-268
E-mail: yu.yu.morzerin@urfu.ru
Формат 70×100/16. Заказ № 409.
Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии
Издательско-полиграфического центра УрФУ
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
E-mail: press-urfu@mail.ru



