



ISSN 2410-6593 (Print)  
ISSN 2686-7575 (Online)

# ТОНКИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Fine  
Chemical  
Technologies

- Теоретические основы химической технологии
- Химия и технология органических веществ
- Химия и технология лекарственных препаратов и биологически активных соединений
- Синтез и переработка полимеров и композитов на их основе
- Химия и технология неорганических материалов
- Аналитические методы в химии и химической технологии
- Математические методы и информационные системы в химической технологии

Тонкие химические технологии =  
Fine Chemical Technologies  
Том 16, № 4, 2021

Tonkie Khimicheskie Tekhnologii =  
Fine Chemical Technologies  
Vol. 16, No. 4, 2021

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-4>  
[www.finechem-mirea.ru](http://www.finechem-mirea.ru)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593>

**Тонкие химические технологии =  
Fine Chemical Technologies  
2021, том 16, № 4**

Научно-технический рецензируемый журнал «Тонкие химические технологии» освещает современные достижения фундаментальных и прикладных исследований в области тонких химических технологий, включая теоретические основы химической технологии, химию и технологию лекарственных препаратов и биологически активных соединений, органических веществ и неорганических материалов, синтез и переработку полимеров и композитов на их основе, аналитические и математические методы и информационные системы в химии и химической технологии.

**Учредитель и издатель**

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»  
119454, РФ, Москва, пр-кт Вернадского, д. 78.

Периодичность: один раз в два месяца.  
Журнал основан в 2006 году. До 2015 года издавался  
под названием «Вестник МИТХТ» (ISSN 1819-1487).

**Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов ВАК РФ.**

**Индексируется:**  
DOAJ, Chemical Abstracts,  
РИНЦ (Science Index), RSCI,  
Ulrich's International Periodicals Directory

**Главный редактор:**

**Фролкова Алла Константиновна** – д.т.н., профессор, МИРЭА –  
Российский технологический университет, Москва, Российская  
Федерация. Scopus Author ID 35617659200, ResearcherID G-7001-2018,  
<http://orcid.org/0000-0002-9763-4717>,  
[frolkova\\_a@mirea.ru](mailto:frolkova_a@mirea.ru)

**Заместитель главного редактора:**

**Фомичёв Валерий Вячеславович** – д.х.н., профессор,  
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва,  
Российская Федерация. Scopus Author ID 57196028937,  
<http://orcid.org/0000-0003-4840-0655>,  
[fomichev@mirea.ru](mailto:fomichev@mirea.ru)

**Редакция:**

Зав. редакцией	к.т.н. Г.Д. Середина
Научные редакторы	д.х.н., проф. Т.М. Буслаева д.х.н., проф. А.А. Ищенко д.т.н., проф. В.Ф. Корнюшко д.т.н., проф. А.В. Марков д.х.н., проф. Ю.П. Мирошников д.х.н., проф. В.А. Тверской
Компьютерная верстка	Л.Г. Семерня

119571, Москва, пр. Вернадского, 86, оф. Л-119.  
Тел.: +7(495) 246-05-55 (#2-88)  
E-mail: [seredina@mirea.ru](mailto:seredina@mirea.ru)

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77-74580 от 14.12.2018 г.  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информаци-  
онных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Индекс по Объединенному каталогу «Пресса России»: **36924**

[www.finechem-mirea.ru](http://www.finechem-mirea.ru)

**Tonkie Khimicheskie Tekhnologii =  
Fine Chemical Technologies  
2021, vol. 16, no. 4**

The peer-reviewed scientific and technical journal Fine Chemical Technologies highlights the modern achievements of fundamental and applied research in the field of fine chemical technologies, including theoretical bases of chemical technology, chemistry and technology of medicinal compounds and biologically active substances, organic substances and inorganic materials, synthesis and processing of polymers and polymeric composites, analytical and mathematical methods and information systems in chemistry and chemical technology.

**Founder and Publisher**

Federal State Budget  
Educational Institution  
of Higher Education

“MIREA – Russian Technological University”  
78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454, Russian Federation.

Publication frequency: bimonthly.  
The journal was founded in 2006. The name was Vestnik MITHT  
until 2015 (ISSN 1819-1487).

**The journal is included into the List of peer-reviewed science  
press of the State Commission for Academic Degrees  
and Titles of the Russian Federation.**

**The journal is indexed:**  
DOAJ, Chemical Abstracts, Science Index, RSCI,  
Ulrich's International Periodicals Directory

**Editor-in-Chief:**

**Alla K. Frolkova** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, MIREA – Russian  
Technological University, Moscow, Russian Federation. Scopus  
Author ID 35617659200, ResearcherID G-7001-2018,  
<http://orcid.org/0000-0002-9763-4717>,  
[frolkova\\_a@mirea.ru](mailto:frolkova_a@mirea.ru)

**Deputy Editor-in-Chief:**

**Valery V. Fomichev** – Dr. Sci. (Chem.), Professor,  
MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian  
Federation. Scopus Author ID 57196028937,  
<http://orcid.org/0000-0003-4840-0655>,  
[fomichev@mirea.ru](mailto:fomichev@mirea.ru)

**Editorial staff:**

Managing Editor	Cand. Sci. (Eng.) Galina D. Seredina
Science editors	Dr. Sci. (Chem.), Prof. Tatyana M. Buslaeva Dr. Sci. (Chem.), Prof. Anatolii A. Ischenko Dr. Sci. (Eng.), Prof. Valery F. Korniyushko Dr. Sci. (Eng.), Prof. Anatolii V. Markov Dr. Sci. (Chem.), Prof. Yuri P. Miroshnikov Dr. Sci. (Chem.), Prof. Vladimir A. Tverskoy
Desktop publishing	Larisa G. Semernya

86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation.  
Phone: +7(495) 246-05-55 (#2-88)  
E-mail: [seredina@mirea.ru](mailto:seredina@mirea.ru)

Registration Certificate ПИ № ФС 77-74580, issued on December 14, 2018  
by the Federal Service for Supervision of Communications, Information  
Technology, and Mass Media of Russia

The subscription index of *Pressa Rossii*: **36924**

## Редакционная коллегия

**Абишева Зинеш Садыровна** – академик Национальной Академии Наук Республики Казахстан, д.т.н., профессор, Институт металлургии и обогащения, Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан. Scopus Author ID 6601954283, ResearcherID O-8453-2017, <http://orcid.org/0000-0002-4506-0694>, [abisheva\\_z@mail.ru](mailto:abisheva_z@mail.ru).

**Верёвкин Сергей Петрович** – д.т.н., профессор Университета г. Росток, Росток, Германия. Scopus Author ID 7006607848, ResearcherID G-3243-2011, <https://orcid.org/0000-0002-0957-5594>, [Sergey.verevkin@uni-rostock.de](mailto:Sergey.verevkin@uni-rostock.de).

**Жижин Константин Юрьевич** – член-корр. Российской академии наук (РАН), д.х.н., профессор, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 6701495620, ResearcherID C-5681-2013, <http://orcid.org/0000-0002-4475-124X>, [kyuzhizhin@igic.ras.ru](mailto:kyuzhizhin@igic.ras.ru).

**Иванов Игорь Владимирович** – д.х.н., профессор, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 34770109800, ResearcherID I-5606-2016, <http://orcid.org/0000-0003-0543-2067>, [ivanov\\_i@mirea.ru](mailto:ivanov_i@mirea.ru).

**Кардона Карлос Ариэль** – PhD, профессор Национального университета Колумбии, Манизалес, Колумбия. Scopus Author ID 7004278560, <http://orcid.org/0000-0002-0237-2313>, [ccardonaal@unal.edu.co](mailto:ccardonaal@unal.edu.co).

**Койфман Оскар Иосифович** – член-корр. РАН, д.х.н., профессор, президент Ивановского государственного химико-технологического университета, Иваново, Российская Федерация. Scopus Author ID 6602070468, ResearcherID R-1020-2016, <http://orcid.org/0000-0002-1764-0819>, [president@isuct.ru](mailto:president@isuct.ru).

**Крутько Эльвира Тихоновна** – д.т.н., профессор Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь. Scopus Author ID 6602297257, [ela\\_krutko@mail.ru](mailto:ela_krutko@mail.ru).

**Мирошников Анатолий Иванович** – академик РАН, д.х.н., профессор, Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, член Президиума РАН, председатель Президиума Пушкинского научного центра РАН, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 7006592304, ResearcherID G-5017-2017, [aiv@ibch.ru](mailto:aiv@ibch.ru).

**Музафаров Азиз Мансурович** – академик РАН, д.х.н., профессор, Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 7004472780, ResearcherID G-1644-2011, <https://orcid.org/0000-0002-3050-3253>, [aziz@ineos.ac.ru](mailto:aziz@ineos.ac.ru).

## Editorial Board

**Zinesh S. Abisheva** – Academician at the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, K.I. Satpaev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan. Scopus Author ID 6601954283, ResearcherID O-8453-2017, <http://orcid.org/0000-0002-4506-0694>, [abisheva\\_z@mail.ru](mailto:abisheva_z@mail.ru).

**Sergey P. Verevkin** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, University of Rostock, Rostock, Germany. Scopus Author ID 7006607848, ResearcherID G-3243-2011, <https://orcid.org/0000-0002-0957-5594>, [Sergey.verevkin@uni-rostock.de](mailto:Sergey.verevkin@uni-rostock.de).

**Konstantin Yu. Zhizhin** – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr. Sci. (Chem.), Professor, N.S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the RAS, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 6701495620, ResearcherID C-5681-2013, <http://orcid.org/0000-0002-4475-124X>, [kyuzhizhin@igic.ras.ru](mailto:kyuzhizhin@igic.ras.ru).

**Igor V. Ivanov** – Dr. Sci. (Chem.), Professor, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 34770109800, ResearcherID I-5606-2016, <http://orcid.org/0000-0003-0543-2067>, [ivanov\\_i@mirea.ru](mailto:ivanov_i@mirea.ru).

**Carlos A. Cardona** – PhD (Eng.), Professor, National University of Columbia, Manizales, Colombia. Scopus Author ID 7004278560, <http://orcid.org/0000-0002-0237-2313>, [ccardonaal@unal.edu.co](mailto:ccardonaal@unal.edu.co).

**Oskar I. Koifman** – Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, President of the Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russian Federation. Scopus Author ID 6602070468, ResearcherID R-1020-2016, <http://orcid.org/0000-0002-1764-0819>, [president@isuct.ru](mailto:president@isuct.ru).

**Elvira T. Krut'ko** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus. Scopus Author ID 6602297257, [ela\\_krutko@mail.ru](mailto:ela_krutko@mail.ru).

**Anatolii I. Miroshnikov** – Academician at the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, M.M. Shemyakin and Yu.A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the RAS, Member of the Presidium of the RAS, Chairman of the Presidium of the RAS Pushchino Research Center, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 7006592304, ResearcherID G-5017-2017, [aiv@ibch.ru](mailto:aiv@ibch.ru).

**Aziz M. Muzafarov** – Academician at the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of the RAS, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 7004472780, ResearcherID G-1644-2011, <https://orcid.org/0000-0002-3050-3253>, [aziz@ineos.ac.ru](mailto:aziz@ineos.ac.ru).

**Новаков Иван Александрович** – академик РАН, д.х.н., профессор, президент Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Российская Федерация.  
Scopus Author ID 7003436556, ResearcherID I-4668-2015, <http://orcid.org/0000-0002-0980-6591>, [president@vstu.ru](mailto:president@vstu.ru).

**Озерин Александр Никифорович** – член-корр. РАН, д.х.н., профессор, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Российская Федерация.  
Scopus Author ID 7006188944, ResearcherID J-1866-2018, <https://orcid.org/0000-0001-7505-6090>, [ozerin@ispm.ru](mailto:ozerin@ispm.ru).

**Пакканен Тапани** – PhD, профессор, Департамент химии, Университет Восточной Финляндии, Йоенсуу, Финляндия.  
Scopus Author ID 7102310323, [tapani.pakkanen@uef.fi](mailto:tapani.pakkanen@uef.fi).

**Помбейро Армандо** – академик Академии наук Лиссабона, PhD, профессор, президент Центра структурной химии Высшего технического института Университета Лиссабона, Португалия.  
Scopus Author ID 7006067269, ResearcherID I-5945-2012, <https://orcid.org/0000-0001-8323-888X>, [pombeiro@ist.utl.pt](mailto:pombeiro@ist.utl.pt).

**Пышный Дмитрий Владимирович** – член-корр. РАН, д.х.н., профессор, Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Российская Федерация.  
Scopus Author ID 7006677629, ResearcherID F-4729-2013, <https://orcid.org/0000-0002-2587-3719>, [pyshnyi@niboch.nsc.ru](mailto:pyshnyi@niboch.nsc.ru).

**Сигов Александр Сергеевич** – академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, президент МИРЭА – Российского технологического университета, Москва, Российская Федерация.  
Scopus Author ID 35557510600, ResearcherID L-4103-2017, [sigov@mirea.ru](mailto:sigov@mirea.ru).

**Тойкка Александр Матвеевич** – д.х.н., профессор, Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация.  
Scopus Author ID 6603464176, ResearcherID A-5698-2010, <http://orcid.org/0000-0002-1863-5528>, [a.toikka@spbu.ru](mailto:a.toikka@spbu.ru).

**Трохимчук Анджеј** – д.х.н., профессор, Химический факультет Вроцлавского политехнического университета, Вроцлав, Польша.  
Scopus Author ID 7003604847, [andrzej.trochimczuk@pwr.edu.pl](mailto:andrzej.trochimczuk@pwr.edu.pl).

**Тсивадзе Аслан Юсупович** – академик РАН, д.х.н., профессор, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Российская Федерация.  
Scopus Author ID 7004245066, ResearcherID G-7422-2014, [tsiv@phyche.ac.ru](mailto:tsiv@phyche.ac.ru).

**Ivan A. Novakov** – Academician at the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, President of the Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.  
Scopus Author ID 7003436556, ResearcherID I-4668-2015, <http://orcid.org/0000-0002-0980-6591>, [president@vstu.ru](mailto:president@vstu.ru).

**Alexander N. Ozerin** – Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials of the RAS, Moscow, Russian Federation.  
Scopus Author ID 7006188944, ResearcherID J-1866-2018, <https://orcid.org/0000-0001-7505-6090>, [ozerin@ispm.ru](mailto:ozerin@ispm.ru).

**Tapani A. Pakkanen** – PhD, Professor, Department of Chemistry, University of Eastern Finland, Joensuu, Finland.  
Scopus Author ID 7102310323, [tapani.pakkanen@uef.fi](mailto:tapani.pakkanen@uef.fi).

**Armando J.L. Pombeiro** – Academician at the Academy of Sciences of Lisbon, PhD, Professor, President of the Center for Structural Chemistry of the Higher Technical Institute of the University of Lisbon, Lisbon, Portugal.  
Scopus Author ID 7006067269, ResearcherID I-5945-2012, <https://orcid.org/0000-0001-8323-888X>, [pombeiro@ist.utl.pt](mailto:pombeiro@ist.utl.pt).

**Dmitrii V. Pyshnyi** – Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russian Federation.  
Scopus Author ID 7006677629, ResearcherID F-4729-2013, <https://orcid.org/0000-0002-2587-3719>, [pyshnyi@niboch.nsc.ru](mailto:pyshnyi@niboch.nsc.ru).

**Alexander S. Sigov** – Academician at the RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, President of MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation.  
Scopus Author ID 35557510600, ResearcherID L-4103-2017, [sigov@mirea.ru](mailto:sigov@mirea.ru).

**Alexander M. Toikka** – Dr. Sci. (Chem.), Professor, Institute of Chemistry, Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation.  
Scopus Author ID 6603464176, ResearcherID A-5698-2010, <http://orcid.org/0000-0002-1863-5528>, [a.toikka@spbu.ru](mailto:a.toikka@spbu.ru).

**Andrzej W. Trochimczuk** – Dr. Sci. (Chem.), Professor, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland.  
Scopus Author ID 7003604847, [andrzej.trochimczuk@pwr.edu.pl](mailto:andrzej.trochimczuk@pwr.edu.pl).

**Aslan Yu. Tsivadze** – Academician at the RAS, Dr. Sci. (Chem.), Professor, A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the RAS, Moscow, Russian Federation.  
Scopus Author ID 7004245066, ResearcherID G-7422-2014, [tsiv@phyche.ac.ru](mailto:tsiv@phyche.ac.ru).

**СОДЕРЖАНИЕ**

**CONTENTS**

**Теоретические основы  
химической технологии**

*Кабо Г.Я., Кабо Л.А., Карпушенкова Л.С.,  
Блохин А.В.*  
Энергоемкость углеводородов в жидком  
и твердом состояниях

273

**Химия и технология  
органических соединений**

*Егоров О.С., Борисова Н.Ю., Борисова Е.Я.,  
Режаббаев М.Л., Афанасьева Е.Ю.,  
Арзамасцев Е.В.*  
Структура и биологическое действие аналогов  
и производных биогенных полиаминов

287

**Химия и технология лекарственных  
препаратов и биологически  
активных соединений**

*Ахмедова Д.А., Шаталов Д.О., Иванов И.С.,  
Айдакова А.В., Гербст А., Грайнер Л.,  
Каплун А.П., Журбенко А.С., Кедик С.А.*  
Применение микрофлюидного аппаратного  
оснащения в синтезе производных  
олигогексаметиленгуанидина

307

**Theoretical Bases of Chemical  
Technology**

*Kabo G.J., Kabo L.A., Karpushenkava L.S.,  
Blokhin A.V.*  
Energy intensity of hydrocarbons in liquid  
and solid states

**Chemistry and Technology  
of Organic Substances**

*Egorov O.S., Borisova N.Yu., Borisova E.Ya.,  
Rezhabbaev M.L., Afanas'eva E.Yu.,  
Arzamastsev E.V.*  
Structure and biological action of analogs  
and derivatives of biogenic polyamines

**Chemistry and Technology  
of Medicinal Compounds  
and Biologically Active Substances**

*Akhmedova D.A., Shatalov D.O., Ivanov I.S.,  
Aydakova A.V., Herbst A., Greiner L.,  
Kaplun A.P., Zhurbenko A.S., Kedik S.A.*  
The use of microfluidic hardware  
in the synthesis of oligohexamethylene  
guanidine derivatives



*Пронина И.В., Мочалова Е.С., Ефимова Ю.А.,  
Постников П.В.*

Биологические функции кобальта,  
токсикология и обнаружение в антидопинговом  
контроле

### **Синтез и переработка полимеров и композитов на их основе**

*Акимова А.А., Ломовской В.А.,  
Симонов-Емельянов И.Д.*

Пенообразование растворов поливинилового  
спирта с разной молекулярной массой в воде

*Марков А.В., Тарасова К.С., Марков В.А.*

Влияние релаксационных процессов  
при деформировании на электрическое  
сопротивление полипропиленовых  
композитов с техническим углеродом

### **Химия и технология неорганических материалов**

*Васильева А.А., Глазунова Т.Ю.,  
Терещенко Д.С., Лермонтова Э.Х.*

Трифторацетат кальция:  
новый структурный тип

*Сарин В.А.*

Использование 4-х кружного гониометра для  
нейтронного и рентгеновского дифрактометра  
при исследовании монокристаллов

*Pronina I.V., Mochalova E.S., Efimova Yu.A.,  
Postnikov P.V.*

Biological functions of cobalt  
and its toxicology and detection  
in anti-doping control

### **Synthesis and Processing of Polymers and Polymeric Composites**

*Akimova A.A., Lomovskoy V.A.,  
Simonov-Emel'yanov I.D.*

Aqueous polyvinyl alcohol solution foaming  
at different molecular masses

*Markov A.V., Tarasova K.S., Markov V.A.*

Effect of relaxation processes during  
deformation on electrical resistivity  
of carbon black polypropylene  
composites

### **Chemistry and Technology of Inorganic Materials**

*Vasilyeva A.A., Glazunova T.Yu.,  
Tereshchenko D.S., Lermontova E.Kh.*

A novel calcium trifluoroacetate  
structure

*Sarin V.A.*

Use of a 4-circle goniometer for neutron  
and X-ray diffractometer in the study  
of single crystals

318

337

345

352

363