



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, № 5, 2021

Tonkie Khimicheskie Tekhnologii =  
Fine Chemical Technologies  
Vol. 16, No. 5, 2021

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-5>  
[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, № 5**

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:**

SCOPUS, 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)

**Выпускающий редактор:**

**Дураков Сергей Алексеевич** – к.х.н., доцент, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация, [durakov@mirea.ru](mailto:durakov@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, информационных 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. 5**

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:**

SCOPUS, 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)

**Executive Editor:**

**Sergey A. Durakov** – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation, [durakov@mirea.ru](mailto:durakov@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

**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, Манисалес, 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

**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 Юсуфович** – 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**

*Зиятдинов Н.Н., Емельянов И.И., Рыжова А.А.,  
Чернаков П.С.*

Алгоритм и программный комплекс оптимального  
технологического проектирования простых  
ректификационных колонн 379

**Химия и технология  
органических соединений**

*Терентьева В.Б., Пешнев Б.В., Николаев А.И.*

Гидродинамическая активация тяжелых  
нефтяных остатков 390

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

*Гусаров М.В., Крылов А.В., Дешевая Е.А.,  
Тверской В.А.*

Синтез и свойства сополимеров  
винилбензилового спирта со стиролом 399

**Theoretical Bases of Chemical  
Technology**

*Ziyatdinov N.N., Emelyanov I.I., Ryzhova A.A.,  
Chernakov P.S.*

Algorithm and software for the optimal  
technological design of a system of simple  
distillation columns

**Chemistry and Technology  
of Organic Substances**

*Terenteva V.B., Peshnev B.V., Nikolaev A.I.*

Hydrodynamic activation of heavy  
oil residues

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

*Gusarov M.V., Krylov A.V., Deshevaya E.A.,  
Tverskoy V.A.*

Synthesis and properties of vinyl benzyl alcohol  
copolymers with styrene



*Рожков К.И., Ягудаева Е.Ю., Сизова С.В.,  
Лазов М.А., Смирнова Е.В., Zubov В.П.,  
Ищенко А.А.*

Характеризация наночастиц кристаллического кремния, легированного железом, и их модификация цитрат-анионами для использования *in vivo*

414

*Rozhkov K.I., Yagudaeva E.Y., Sizova S.V.,  
Lazov M.A., Smirnova E.V., Zubov V.P.,  
Ischenko A.A.*

Characterization of iron-doped crystalline silicon nanoparticles and their modification with citrate anions for *in vivo* applications

## **Химия и технология неорганических материалов**

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

*Закалюкин Р.М., Левкевич Е.А., Николаева А.В.*  
Синтез и рентгенографические характеристики фтор-ионных проводников  $\text{MeSn}_2\text{F}_5$  (Me = Na, K, Rb, Cs)

426

*Zakalyukin R.M., Levkevich E.A., Nikolaeva A.V.*  
Synthesis and X-ray-graphical characteristics of the  $\text{MeSn}_2\text{F}_5$  (Me = Na, K, Rb, Cs) fluoride-ion conductors

*Чернышова О.В., Елемесов Т.Б., Дробот Д.В.*  
Применение импульсного тока для растворения жаропрочного сплава ЖС32-ВИ

438

*Chernyshova O.V., Yelemessov T.B., Drobot D.V.*  
Application of pulse current for dissolution of heat-resistant GS32-VI alloy

## **Исправления**

## **Erratum**

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

448

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