

ISSN 2076-0655

---

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

---

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ**

---



1

2024

МОСКВА

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ

Том 31, № 1

Январь – Март, 2024

Журнал издается с 1994 г. В нем публикуются актуальные материалы по широкому кругу вопросов техники и технологии силикатов, строительному материаловедению, по вопросам современного производства строительных материалов и изделий, новости науки и техники.

Журнал оказывает поддержку аспирантам, докторантам, молодым ученым и специалистам промышленности, публикует их работы по вопросам техники и технологии силикатов в первую очередь.

Главный редактор **КРИВОБОРОДОВ Ю. Р.**, д-р техн. наук, проф., РХТУ им. Д. И. Менделеева. E-mail: [ykriv@rambler.ru](mailto:ykriv@rambler.ru)

Редактор-консультант **КУЗНЕЦОВА Т. В.**, д-р техн. наук, проф. E-mail: [tkouzn@mail.ru](mailto:tkouzn@mail.ru)

## Редакционный совет

ГУСЕВ Б.В., Международная инженерная академия, президент, чл.-корр. РАН;  
КУЗНЕЦОВА Т. В., Международная инженерная академия, д-р техн. наук;  
КРИВОБОРОДОВ Ю. Р., д-р техн. наук, проф., РХТУ им. Д. И. Менделеева;  
БУРЛОВ Ю.А., ОАО «Подольск-Цемент», генеральный директор, д-р экон. наук;  
КРАСНЫЙ Б.Л., ЗАО НТЦ «Бакор», генеральный директор, д-р техн. наук;  
СИГАЕВ В.Н., д-р хим. наук, РХТУ им. Д. И. Менделеева, проф.;  
СОЛНЦЕВ С.С., ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, советник генерального директора, д-р техн. наук, проф.

## Редакционная коллегия

БЕЛЯКОВ А.В., проф., РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия;  
БОБКОВА Н.М., проф., Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;  
БОРИСОВ И.Н., проф., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия;  
БУРЬЯНОВ А.Ф. исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации, проф. Московского государственного строительного университета, Москва, Россия;  
ВЕРЕЩАГИН В.И., проф., Томский политехнический университет, Томск, Россия;  
ЕРОФЕЕВ В.Т., академик РААС, Москва, Россия;  
КУРДОВСКИЙ В., проф., Горнометаллургическая академия, Краков, Польша;  
КОЛЕСНИКОВ А.С., проф. Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Чимкент, Казахстан;  
КОНДРАЩЕНКО В.И. проф., Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия;  
КОРШУНОВ А.В., проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия;  
МАЦЕЕВИЧ Т.А., проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия;  
НИЯЗБЕКОВА Р.К., проф., Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан;  
ПАЛЕАРИ А., проф., Университет Милано-Бикокка, Милан, Италия;  
ПОТАПОВА Е.Н., проф., РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия;  
ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ В.Б., проф., Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия;  
САМЧЕНКО С.В., проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия;  
САНИЦКИЙ М.А., проф., Национальный университет «Львовская политехника», Украина  
УШКОВ В.А., проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия;  
ФЕДЮК Р.С., проф., Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Издатель – ИП Самченко С.В.

Выходит 4 раза в год

Подписной индекс 87947 в объединенном каталоге «Пресса России»

Адрес редакции: 123514, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20, корп. 1, стр. 4 РХТУ им. Д. И. Менделеева

Тел./факс: (495) 496-60-09 E-mail: [info@tsilicates.ru](mailto:info@tsilicates.ru); [ykriv@rambler.ru](mailto:ykriv@rambler.ru) Интернет: <https://tsilicates.ru>

*По решению ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»*

*2.1.5 – Строительные материалы и изделия*

*2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов*

*2.6.17 – Материаловедение*

# TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF SILICATES

SCIENCE AND TECHNOLOGY JOURNAL OF BINDERS, CERAMICS, GLASS AND ENAMELS

Vol. 31, No. 1

January – March, 2024

Journal is published since 1994. It publishes relevant materials on the problems of modern production, information on economic and financial issues, science and technology news, reports of new raw materials and products.

Journal provides support for students, doctoral students, young scientists and specialists of industry and publishes their works on a wide range of questions of technique and technology of silicates in the first place.

**Editor-in-Chief KRIVOBORODOV Yu. R.**, Dr. Sci., prof., D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR). E-mail: [ykriv@rambler.ru](mailto:ykriv@rambler.ru)

**Editor-consultant KOUZNETSOVA T. V.**, Dr. Sci., prof. E-mail: [tkouzn@mail.ru](mailto:tkouzn@mail.ru)

## Editorial Council

GUSEV B. V., president of the REA, academician;

KOUZNETSOVA T. V., academician of the REA;

KRIVOBORODOV Yu. R., Dr. Sci., prof., D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR)

BURLOV Yu. A., JSC «Podolsk-Cement», general director, Dr. Econ. Sci.;

KRASNY B. L., JSC «Bakor», general director, Dr. Sci.;

SIGAEV V. N., MUSTR, Dr. Sci., prof.;

SOLNTSEV S. S., FGUP «VIAM» GNZ RF, adviser of general director, Dr. Sci., prof.

## Editorial board

BELAKOV A. V., prof., MUCTR, Moscow;

BOBKOVA N. M., prof., Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus;

BORISOV I.N., prof., Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod;

BURYANOV A.F. Executive Director of the Russian Gypsum Association, prof. of the Moscow State University of Civil Engineering, Moscow;

VERESHCHAGIN V. I., prof., Tomsk Politechnical University;

EROFEEV V.T., academician of the RAAS

KURDOWSKI W., prof., Academia Gorniczno-Hutnicza, Krakow, Poland;

KOLESNIKOV A.S., prof. South Kazakhstan University named after. M. Auezova, Chimkent, Kazakhstan

KONDRASHENKO V.I., prof., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia;

KORSHUNOV A.V., prof., National Research University MGSU, Moscow;

MATSEEVICH T.A., prof., National Research University MGSU, Moscow;

NIYAZBEKOVA R. K., prof., L. N. Gumilyov Eurasian University, Astana, Kazakhstan;

PALEARI A., prof., University of Milano-Bicocca, Milan, Italy;

POTAPOVA E.N., prof., MUSTR, Moscow

PETROPAVLOVSKAYA V.B., prof., Tver State Technical University, Tver,

SAMCHENKO S.V., prof., National Research University MGSU, Moscow;

SANITSKIY M. A., prof., Lviv Polytechnic National University, Ukraine

USHKOV V.A., prof., National Research University MGSU, Moscow;

FEDYUK R.S., prof., Far Eastern Federal University, Vladivostok

**Publisher** – IP Samchenko S.V.

**Issue:** 4 number a year

**Subscription:** Union catalogue «Press of Russia», index 87947

**Address of editorial office:** 136 Profsoyuznaya str. Moscow, 117321

Tel./fax +7 Тел./факс: (495) 496-60-09 E-mail: [info@tsilicates.ru](mailto:info@tsilicates.ru) ; [ykriv@rambler.ru](mailto:ykriv@rambler.ru)

Internet: <https://tsilicates.com>

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Новоселов А.Г., Дреер Ю.И., Новоселова И.Н., Левина Ю.А.</i>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗГОНКИ ФТОРА В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА КЛИНКЕРА</b>	4
<i>Матвеев Ю.И., Аскадский А.А., Мацевич Т.А.</i>	
<b>ВЛИЯНИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</b>	14
<i>Яковлев Г.И., Полянских И.С., Пудов И.А., Саидова З.С., Бурьянов А.Ф.</i>	
<b>ФИБРОАРМИРОВАННАЯ ОДНОКОМПОНЕНТНАЯ ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНАЯ КРАСКА</b>	23
<i>Юшин Д.И., Нетреба А.Ю., Рагуткин А.В., Санжаровский А. Ю.</i>	
<b>МУЛЬТИМАТЕРИАЛЬНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ</b>	35
<i>Нгуен Зоан Тунг Лам, Самченко С. В., Зорин Д. А., Сизяков И. Д., Ву Ким Зиен</i>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ СУЛЬФОАЛЮМИНАТА КАЛЬЦИЯ</b>	47
<i>Бруяко М.Г., Ергенян А.М., Швецова В.А., Якупова Ю.М.</i>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОМАРОЧНОГО ГИПСА</b>	59
<i>Гольцман Б.М., Яценко Е.А., Пантелеева А.Е., Бостанов Ю.А., Смолий В.А.</i>	
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАТРИЙСОДЕРЖАЩИХ ПЛАВНЕЙ НА СПЕКАНИЕ И ПЛАВЛЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ</b>	68
<i>Гребенюк А.А., Ерошенко Т.С., Борисов И.Н., Вагин С.А.</i>	
<b>СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГИДРАТИРОВАННОГО БЕЛОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ДИОКСИДОМ ТИТАНА</b>	77
<i>Саркисов Ю.С., Саркисов Д.Ю., Зубкова О.А.</i>	
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАНТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С КОНСТАНТАМИ ФЕЙГЕНБАУМА</b>	88
<b>РЕФЕРАТЫ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В НОМЕРЕ</b>	93

## CONTENTS

	Pp
<i>Novosyolov A.G., Dreer Yu.I., Novoselova I.N., Levina Yu.A.</i>	
<b>INVESTIGATION OF FLUORINE SUBLIMATION IN THE CLINKER BURNING PROCESS</b>	<b>4</b>
<i>Matveev T.I., Askadskii A.A., Matseevich T.A.</i>	
<b>INFLUENCE OF SUPRAMOLECULAR STRUCTURES OF POLYMERS ON THEIR ELECTROOPTICAL PROPERTIES</b>	<b>14</b>
<i>Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S., Pudov I.A., Saidova Z.S., Buryanov A.F.</i>	
<b>FIBER REINFORCED SINGLE-COMPONENT CEMENT-SILICATE PAINT</b>	<b>23</b>
<i>Yushin D.I., Ntreba A.Yu., Ragutkin A.V., Sanzharovskiy A.Yu.</i>	
<b>MULTIMATERIAL 3D-PRINTING OF FUNCTIONAL CERAMIC DEVICES</b>	<b>35</b>
<i>Nguyen Doan Tung Lam, Samchenko S.V., Zorin D.A., Sizyakov I.D., Vu Kim Dien</i>	
<b>STUDY OF DEFORMATION CHARACTERISTICS OF BINDER WITH COMPLEX ADDITIVE BASED ON CALCIUM SULFOALUMINATE</b>	<b>47</b>
<i>Bruyako M.G., Ergenyan A.M., Shvetsova V.A., Yakupova Yu.M.</i>	
<b>STUDY ON THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURE PLASMA ON THE PROPERTIES OF HIGH STRENGTH GYPSUM BINDER</b>	<b>59</b>
<i>Gol'tsman B.M., Yatsenko E.A., Panteleeva A.E., Bostanov Y.A., Smoliy V.A.</i>	
<b>COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF SODIUM CONTAINING MELTS ON SINTERING AND MELTING OF ALUMINOSILICATE INDUSTRIAL WASTES</b>	<b>68</b>
<i>Grebeniuk A.A., Eroshenko T.S., Borisov I.N., Vagin S.A.</i>	
<b>COMPOSITION, STRUCTURE AND PROPERTIES OF HYDRATED WHITE PORTLAND CEMENT WITH TITANIUM DIOXIDE</b>	<b>77</b>
<i>Sarkisov Yu.S., Sarkisov D.Yu., Zubkova O.A.</i>	
<b>MODERN VARIANTS OF THE PERIODIC SYSTEM OF ELEMENTS OF D.I. MENDELEEV AND THEIR RELATIONSHIP WITH FEIGENBAUM CONSTANTS</b>	<b>88</b>
<b>ABSTRACTS OF PAPERS PUBLISHED IN ISSUE</b>	<b>97</b>

УДК 666.3

Тип статьи: обзорная статья

ГРНТИ 61.35.29

Научная специальность ВАК: 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)

## МУЛЬТИМАТЕРИАЛЬНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Юшин Д.И.<sup>1</sup>, Нетреба А.Ю.<sup>1</sup>, Рагуткин А.В.<sup>1</sup>, Санжаровский А. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», РТУ МИРЭА

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»

---

### АННОТАЦИЯ

*В последние годы реализуется тренд на миниатюризацию функциональных керамических устройств при улучшении их характеристик. При этом сильно усложняется процесс их быстрого прототипирования и увеличивается себестоимость при использовании классических технологий производства.*

*Являясь развивающейся технологией, мультиматериальная 3D-печать способна не только обеспечить создание керамических изделий сложных форм (включая недоступные при использовании классических технологий), но и на порядки ускорить скорость прототипирования при значительном снижении себестоимости.*

*В данной статье рассматриваются последние достижения в области методов мультиматериальной 3D-печати, а также проводится всестороннее исследование функциональных керамических материалов и процессов, пригодных для 3D-печати, для различных функциональных керамических устройств, включая конденсаторы, многослойные подложки и микрополосковые антенны. Кроме того, определены ключевые проблемы и перспективы функциональных керамических устройств с 3D-печатью из нескольких материалов и обсуждены направления на будущее.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** аддитивные технологии, керамика, HTCC, LTCC, мультиматериальная 3D-печать

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Юшин Д.И. Мультиматериальная 3D-печать керамических изделий / Юшин Д.И., Нетреба А.Ю., Рагуткин А.В., Санжаровский А.Ю. // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 1. – С. 35-46.

Type of article - review article

OECD 2.05 Materials engineering

PK MATERIALS SCIENCE, CERAMICS

## MULTIMATERIAL 3D-PRINTING OF FUNCTIONAL CERAMIC DEVICES

Yushin D.I.<sup>1</sup>, Netreba A.Yu.<sup>1</sup>, Ragutkin A.V.<sup>1</sup>, Sanzharovskiy A.Yu.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MIREA - Russian Technological University

<sup>2</sup> Research Institute "Environmental Industrial Policy Centre" (EIPC)

---

### ABSTRACT

*In recent years, there has been a trend towards miniaturization of functional ceramic devices while improving their characteristics. At the same time, the process of rapid prototyping becomes much more complicated and the cost increases when using classical production technologies.*

*Being an evolving technology, multimaterial 3D printing is able not only to create ceramic products of complex shapes (including those inaccessible when using classical technologies), but also to accelerate the prototyping speed by orders of magnitude with a significant reduction in cost.*

*This article reviews the latest developments in the field of multimaterial 3D printing techniques, as well as a comprehensive study of functional ceramic materials and processes suitable for 3D printing for various functional ceramic devices, including capacitors, multilayer substrates and microstrip antennas. In addition, the key problems and prospects of functional ceramic devices with 3D printing from several materials were identified and future directions were discussed.*

**KEY WORDS:** additive technologies, ceramics, HTC, LTCC, multimaterial 3D-printing

**FOR CITATION:** Yushin D.I. Multimaterial 3D printing of ceramic products / Yushin D.I., Netreba A.Yu., Ragutkin A.V., Sanzharovskiy A.Yu. // Technique and technology of silicates. – 2023. – Vol. 31, No. 1. – Pp. 35-46.