



## IN THE ISSUE:

## В НОМЕРЕ:

- Cement stone on the basis of quartz-ash-cement binder
  - Phase-structural heterogeneity and activity of the surface of polymimetal sand powders
  - Socio-economic assessment of the use of nature-like nanotechnologies for the reengineering of the technosphere
  - Optimization of technological parameters for obtaining mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks for cement systems
- 
- Цементный камень на кварцеволоцементном вяжущем
  - Фазово-структурная гетерогенность и активность поверхности порошков полиминеральных песков
  - О социально-экономической оценке реинжениринга техносферы с помощью «природоподобных нанотехнологий»
  - Оптимизация технологических параметров получения минеральных добавок на основе прокаленных глин и карбонатных пород для цементных систем

[www.nanobuild.ru](http://www.nanobuild.ru)

e-mail: [info@nanobuild.ru](mailto:info@nanobuild.ru)

ISSUED WITH SUPPORT OF  
ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING  
РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING  
МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ  
АКАДЕМИИ



WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (CHINA)  
УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТЕХНОЛОГИЙ  
(КИТАЙ)



## NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

## NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

ISSN 2075-8545 (online)

«Nanotechnologies in Construction» is a peer-reviewed journal.

The main aim of the Journal is to provide information support for the process of invention and practical application of science intensive technologies (mostly nanotechnological products) in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).

### The main tasks:

- Providing scientists and specialists from different countries with the opportunity to publish the results of their research and receive information about modern technologies and materials, high-performance equipment in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).
- To provide information support and participate in the events (forums, conferences, symposia, workshops, exhibitions, round tables etc) devoted to nanoindustry and problems of application of nanoindustry in construction and housing and communal services, which are perspective and of great importance.

The Journal has been published since 2009. Frequency: bimonthly.

These are the topics of the papers published in the journal: creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; technologies aimed at studying nanomaterial properties; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

The journal can also publish: original papers; reviews; discussing materials, comments, other information materials.

The language of publication: English; Russian.

### The edition's readers and authors are:

- students, lecturers, post-graduates and people working for doctor's degree;
- scientists and specialists of research institutes and nanotechnological centers;
- heads and specialists of the institutions, organizations and factories from the sphere of construction and housing and communal services;
- scientists and specialists of the industries which are adjacent to construction;
- experts of the enterprise-producers manufacturing nanoindustrial output.

### EDITORS

**CHIEF EDITOR – Boris V. GUSEV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Department «Construction Materials and Technologies» Russian University of transport, President of the Russian Academy of Engineering and the International Academy of Engineering, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Laureate of the USSR and the Russian Federation State Prizes, Laureate of 5 Governmental Prizes of the Russian Federation in the field of science and education, Honored Scientist of Russian Federation, Moscow, Russian Federation

**Contacts:** e-mail: info@nanobuild.ru, info-rae@mail.ru

**DEPUTY CHIEF EDITOR – Leonid A. IVANOV**, Cand. Sci. (Eng.), Russian Academy of Engineering, International Academy of Engineering, Center for New Technologies «NanoStroitelstvo», Moscow, Russian Federation

**Contacts:** e-mail: info@nanobuild.ru, l.a.ivanov@mail.ru

**EXECUTIVE EDITOR – Yulia A. EVSTIGNEVA**, Member of Russian Association of Journalists, Moscow, Russian Federation  
**Contacts:** e-mail: info@nanobuild.ru, evstigneeva.ju@yandex.ru

**HEAD OF DESIGN DEPARTMENT – Andrey S. REZNICHENKO**, Businessman, Moscow, Russian Federation  
**Contacts:** e-mail: info@nanobuild.ru, ras77222@yandex.ru

**CHIEF FOR FOREIGN RELATIONS – Svetlana R. MUMINOVA**, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation  
**Contacts:** e-mail: info@nanobuild.ru, muminova@list.ru

## EDITORIAL BOARD

**Peter J.M. BARTOS**, Prof., Queen's University of Belfast, RILEM Technical Committee TC 197-NCM on Nanotechnology in Construction Materials (2002–2009), Scottish Centre for Nanotechnology in Construction Materials (University of West Scotland), Belfast, UK

**Evgeny M. CHERNYSHOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

**Vyacheslav R. FALIKMAN**, Dr. (Mater.), Scientific Research Center «Construction», Structural Concrete Association, International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM), Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Moscow, Russian Federation

**Oleg L. FIGOVSKY**, Dr. Sci. (Eng.), Israel Polymate research center, Nanotech Industries, Inc., Daly City, California, USA; Migdal HaEmek, Israel

**Zhengyi FU**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Wuhan University of Technology, State Key Lab of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan, China

**Leonid A. IVANOV**, Cand. Sci. (Eng.), Russian Academy of Engineering, International Academy of Engineering, Center for New Technologies «NanoStroitelstvo», Moscow, Russian Federation

**Sergei V. KALIUZHNIY**, Dr. Sci. (Chem.), Prof., RUSNANO, Moscow, Russian Federation

**Vadim G. KHOZIN**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Department «Technology of Construction Materials, Products and Structures», Kazan, Russian Federation

**Evgeniy V. KOROLEV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Scientific and Educational center «Nanomaterials and nanotechnologies» Moscow, Russian Federation

**Leonid M. LYNKOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Department «Information Security», Minsk, Belarus

**Polad MALKIN**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Ben-Gurion University in the Negev, StartUpLab, Beer-Sheva, Israel

**Viktor S. MECHTCHERINE**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Technical University of Dresden, Institute of Construction Materials, Dresden, Germany

**Surendra P. SHAH**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Northwestern University, Evanston, Illinois, USA

**Vladimir Y. SHEVCHENKO**, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Institute of Silicate Chemistry named after I.V. Gribenshchikov of Russian Academy of Sciences, Coordinating Council on Development of Nanotechnologies attached to the Committee of the Council of the Federation of the Federal Assembly of the RF on Science, Culture, Education, Medicine and Ecology, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Pawel SIKORA**, Ph.D., Associate Professor, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Department of General Civil Engineering, Szczecin, Poland

**Konstantin G. SOBOLEV**, Prof., University of Wisconsin-Milwaukee, Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Milwaukee, Wisconsin, USA

**Valeriy I. TELICHENKO**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

**Larisa A. URKHANOVA**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., East-Siberian State University of Technologies and Management, Department «Production of Building Materials and Wares», Ulan-Ude, Russian Federation

**Li D. XU**, Ph.D., Prof., Old Dominion University, of Information Technologies & Decision Sciences Department; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Norfolk, Virginia, USA

**The Journal is registered as an independent mass media in the Ministry of Communication and Mass Media of the Russian Federation.** (Registration Certificate Эл № ФС77 – 35813 of 31 March 2009 issued by the Federal Service on Supervision in the Sphere of Connection and Mass Communications).

**Founder and Publisher** – Center for New Technologies «Nanostroitel'stvo», Korolev, Moscow region, Russian Federation

**Contacts:** e-mail: i.a.ivanov@mail.ru

**Address of edition:** Russian Federation, 125009, Moscow, Gazetny per., bld. 9, str. 4

**Contacts:** e-mail: info@nanobuild.ru

**Website:** <http://nanobuild.ru/>

**Release date of № 2 (Vol. 14) is 20.04.2022**

## ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



INTERNATIONAL ACADEMY  
OF ENGINEERING



WUHAN UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY (CHINA)

## CONTENTS

<b>PUBLISHER INFORMATION</b>	80
<b>STUDYING THE PROPERTIES OF NANOMATERIALS</b>	
<i>Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Rashupkina M.A., Pedun G.A.</i>	
Cement stone on quartz-ash-cement binder.....	83
<b>MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS</b>	
<i>Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Akulova M.V., Frolova M.A.</i>	
Phase-structural heterogeneity and activity of the surface of polymineral sand powders .....	89
<b>CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE</b>	
<i>Loganina V.I.</i>	
Lime-diatomic mortar for finishing the walls of buildings .....	96
<b>REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS</b>	
<i>Ivanov L.A., Xu L.D., Muminova S.R., Feoktistova V.M., Romanova E.V.</i>	
Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part II.....	105
<b>INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION</b>	
<i>Wuhan University of Technology.....</i>	113
<b>PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY IN CONSTRUCTION</b>	
<i>Belozerov V.V., Nikulin M.A., Belozerov V.I.V.</i>	
Socio-economic assessment of the use of nature-like nanotechnologies for the reengineering of the technosphere .....	119
<b>CREATION OF NEW FUNCTIONAL MATERIALS</b>	
<i>Baldanov A.B., Bokhoeva L.A., Shalbuev D.V., Tumurova T.B.</i>	
Collagen based bio-additives in polymer composites .....	137
<b>THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES</b>	
<i>Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin S.V.</i>	
Optimization of technological parameters for obtaining mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks for cement systems .....	145
<i>Zaripov I.I., Vikhareva I.N., Buylova E.A., Berestova T.V., Mazitova A.K.</i>	
Additives to reduce the flammability of polymers.....	156
<b>PUBLISHING ETHICS</b> .....	
	162
<b>AUTHOR GUIDELINES</b> .....	
	166



## НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

ISSN 2075-8545 (online)

«Нанотехнологии в строительстве» – рецензируемый научный журнал.

Основной целью журнала является информационное обеспечение процесса создания и внедрения в мире научно-технических технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

### Основные задачи:

- Предоставление ученым и специалистам из разных стран возможности публиковать результаты своих исследований и получать информацию о современных технологиях и материалах, высокоеффективном оборудовании в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).
- Информационная поддержка и участие в мероприятиях (форумах, конференциях, симпозиумах, семинарах, выставках, круглых столах и т.д.) по наноиндустрии и прикладным вопросам нанотехнологий в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства, имеющих актуальное и перспективное практическое значение.

Журнал издается с 2009 года. Периодичность – 6 номеров в год.

В журнале публикуются работы по следующим темам: создание новых функциональных материалов; разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем; проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах; диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем; технологии исследования свойств наноматериалов; технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.). Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

Журнал принимает к публикации: оригинальные статьи; обзоры; дискуссионные материалы, комментарии, другие информационные материалы.

Язык издания: русский; английский.

### Авторами и читателями издания являются:

- студенты, преподаватели, аспиранты и докторанты вузов;
- ученые и специалисты научно-исследовательских институтов и нанотехнологических центров;
- руководители и специалисты учреждений, организаций и предприятий строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства;
- ученые и специалисты смежных со строительством отраслей;
- эксперты фирм-производителей продукции наноиндустрии.

## РЕДАКЦИЯ

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – ГУСЕВ Борис Владимирович**, докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, президент Российской инженерной академии и Международной инженерной академии, член-корреспондент РАН, лауреат Государственных премий СССР и РФ, 5-ти премий Правительства РФ в области науки и образования, заслуженный деятель науки РФ, г. Москва, Российская Федерация

Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, info-rae@mail.ru

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА – ИВАНОВ Леонид Алексеевич**, канд. техн. наук, Российской инженерной академия, Международная инженерная академия, Центр новых технологий «НаноСтроительство», г. Москва, Российская Федерация

Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, l.a.ivanov@mail.ru

**ШЕФ-РЕДАКТОР – ЕВСТИГНЕЕВА Юлия Анатольевна**, член Союза журналистов России, г. Москва, Российская Федерация

Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, evstigneeva.ju@yandex.ru

**НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА ДИЗАЙНА И ВЕРСТКИ – РЕЗНИЧЕНКО Андрей Сергеевич**, индивидуальный предприниматель, г. Москва, Российская Федерация

Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, ras77222@yandex.ru

**РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ПО ВНЕШНИМ СВЯЗЯМ – МУМИНОВА Светлана Рашидовна**, канд. техн. наук, доцент, Департамент анализа данных и машинного обучения, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, muminova@list.ru

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Питер Дж. М. БАРТОШ**, профессор, Королевский Университет Белфаста, Технический комитет по нанотехнологиям в строительных материалах РИЛЕМ (2002–2009 гг.), Шотландский центр по нанотехнологиям в строительных материалах (Университет Западной Шотландии), г. Белфаст, Великобритания

**ЧЕРНЫШОВ Евгений Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация

**ФАЛИКМАН Вячеслав Рувимович**, д-р материаловедения, Научно-исследовательский центр «Строительство», ассоциация «Железобетон», Международный союз экспертов и лабораторий по испытанию строительных материалов, систем и конструкций (РИЛЕМ), технический комитет Американского института бетона ACI 241 «Нанотехнологии в бетоне», г. Москва, Российская Федерация

**ФИГОВСКИЙ Олег Львович**, д-р техн. наук, Израильский исследовательский центр Polymate, Nanotech Industries, Inc., г. Дейли-Сити, Калифорния, США; г. Мигдал-ха-Эмек, Израиль

**Фу ДЖЕНЬИ**, д-р техн. наук, профессор, Уханьский технологический университет, Государственная главная лаборатория передовых технологий для синтеза и обработки материалов, г. Ухань, Китай

**ИВАНОВ Леонид Алексеевич**, канд. техн. наук, Российская инженерная академия, Международная инженерная академия, Центр новых технологий «НаноСтроительство», г. Москва, Российская Федерация

**КАЛЮЖНЫЙ Сергей Владимирович**, д-р хим. наук, профессор, ОАО «РОСНАНО», г. Москва, Российская Федерация

**ХОЗИН Вадим Григорьевич**, д-р техн. наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций», г. Казань, Российская Федерация

**КОРОЛЁВ Евгений Валерьевич**, д-р техн. наук, профессор, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), Научно-образовательный центр «Наноматериалы и нанотехнологии», г. Москва, Российская Федерация

**ЛЫНЬКОВ Леонид Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, кафедра «Защита информации», г. Минск, Беларусь

**МАЛКИН Полад**, д-р ф.-м. наук, Университет Бен-Гуриона в Негеве, StartUpLab, г. Беэр-Шева, Израиль

**МЕЩЕРИН Виктор Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, Технический университет Дрездена, Институт строительных материалов, г. Дрезден, Германия

**СУРЕНДРА П. Шах**, д-р техн. наук, профессор, Северо-Западный Университет, г. Эванстон, Иллинойс, США

**ШЕВЧЕНКО Владимир Ярославович**, д-р хим. наук, профессор, Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Координационный совет по развитию нанотехнологий при Комитете Совета Федерации ФС РФ по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**СИКОРА Павел**, доктор наук, Западно-Поморский технологический университет, факультет гражданского и экологического строительства, факультет общего гражданского строительства, г. Щецин, Польша

**СОБОЛЕВ Константин Геннадиевич**, профессор, Университет Висконсин-Милуоки, технический комитет Американского института бетона ACI 241 «Нанотехнологии в бетоне», г. Милуоки, Висконсин, США

**ТЕЛИЧЕНКО Валерий Иванович**, д-р техн. наук, профессор, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация

**УРХАНОВА Лариса Алексеевна**, д-р техн. наук, профессор, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, кафедра «Производство строительных материалов и изделий», г. Улан-Удэ, Российская Федерация

**ШУЛИДА**, д-р философии, профессор, Университет Олд Доминион, Отдел информационных технологий; Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), г. Норфолк, Вирджиния, США

**Журнал зарегистрирован как самостоятельное средство массовой информации в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации** (свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77 – 35813 от 31 марта 2009 г.).

**Учредитель и издатель** – ООО «Центр Новых Технологий «Наностроительство», г. Королев, Московская область, Российская Федерация  
**Контакты:** e-mail: l.a.ivanov@mail.ru

**Адрес редакции:** Российская Федерация, 125009, г. Москва, Газетный пер., дом 9, стр. 4  
**Контакты:** e-mail: info@nanobuild.ru; **Сайт:** http://nanobuild.ru/

Дата выхода в свет № 2, Том 14, 2022: 20.04.2022 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ  
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: научный Интернет-журнал

2022 • Том 14 • № 2

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ</b>	80	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>		
Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Ращупкина М.А., Педун Г.А.		
Цементный камень на кварцеволоцементном вяжущем.....	83	
<b>ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ</b>		
Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Акулова М.В., Фролова М.А.		
Фазово-структурная гетерогенность и активность поверхности порошков полиминеральных песков.....	89	
<b>СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ</b>		
Логанина В.И. Известково-диатомитовый раствор для отделки стен зданий .....	96	
<b>ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ</b>		
Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Муминова С.Р., Феоктистова В.М., Романова Е.В.		
Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть II .....	105	
<b>МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО</b>		
Уханьский технологический университет .....	113	
<b>ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b>		
Белозеров В.В., Никулин М.А., Белозеров Вл.В.		
О социально-экономической оценке реинжиниринга техносферы с помощью «природоподобных нанотехнологий» .....	119	
<b>СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b>		
Балданов А.Б., Бохоеva Л.А., Шалбуев Д.В., Тумурова Т.Б.		
Биодобавки на основе коллагена в полимерных композиционных материалах .....	137	
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ</b>		
Балыков А.С., Низина Т.А., Володин С.В.		
Оптимизация технологических параметров получения минеральных добавок на основе прокаленных глин и карбонатных пород для цементных систем .....	145	
Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Берестова Т.В., Мазитова А.К.		
Добавки для понижения горючести полимеров .....	156	
<b>ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА</b> .....		162
<b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ</b> .....		166

## Cement stone on the basis of quartz-ash-cement binder

Anatoly F. Kosach<sup>1</sup> , Irina N. Kuznetsova<sup>2\*</sup> , Marina A. Rashupkina<sup>1</sup> , Gennady A. Pedun<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Siberian State Automobile and Road University (SibADI), Omsk, Russia

<sup>2</sup> Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

\* Corresponding author: e-mail: inkuznetsova-gsh@mail.ru

**ABSTRACT:** **Introduction.** One of the promising areas related to formation of concrete structure on the basis of a mineral binder with specified performance properties employs the addition of ultradispersed fillers (nanomodifiers) to the binder composition. Wastes of quartz and hydro-removal ash are used as nanomodifiers. The presence of nanoparticles in the binder can significantly change the processes of hydration and hardening of the concrete mix. **Materials and methods.** Hydro-removal ash from Omsk combined heat and power plant 5 (CHPP-5), cement and quartz waste obtained from the production of highly pure quartz concentrate which acted as an enhancer of pozzolanic activity to hydro-removal ash were used as materials for cement stone on the basis of a quartz-ash-cement binder. Nanomodifier was obtained as a result of mechanical, mechanochemical (water) and mechanochemical (water + Megalit S-3ML additive) activations. Activation of the quartz-ash mixture was carried out in a continuous-action rotary mill. The mechanical method provides only mechanical activation, and the mechanochemical method provides mechanical, hydraulic, turbulent and acoustic activations. The mechanochemical method provides all actions of hydraulic activation including chemical one. **Results.** The article investigated cement stone on the basis of quartz-ash-cement binder (activated quartz waste and hydraulic ash from Omsk CHPP-5, cement). The technologies of activation of the quartz-ash mixture by increasing the specific surface of the dispersed phase for the production of quartz-ash-cement binder are considered. The obtained results of the weight distribution of particles of hydro-removal ash and quartz before and after activation show that the average size of the nanoparticle diameter is from 25 µm to 1.5 µm and specific surface is 967–7729 cm<sup>2</sup>/g. **Conclusions.** The use of nanoparticles in a quartz-ash mixture allows increasing the strength characteristics of cement stone from 23 to 59%. The use of quartz waste from the production of high-purity quartz concentrate and ash hydraulic removal from Omsk CHPP-5 power plant with the introduction of the proposed technologies for their activation allows increasing the formation of cement stone on a quartz-ash-cement binder by increasing the package density and chemical activity of nanoparticles in the processes of phase formation of hydrate compounds, which will reduce intergranular space between non-hydrated cement grains and will improve physical and mechanical characteristics of cement stone.

**KEYWORDS:** quartz, hydrotreatment ash, quartz-ash-cement binder, cement stone, nanoparticle, nanomodifier, nanofiller.

**FOR CITATION:** Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Rashupkina M.A., Pedun G.A. Cement stone on quartz-ash-cement binder. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 83–88. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-83-88>.

### INTRODUCTION

One of the promising areas aimed at studying formation of concrete structure on mineral binder with the specified performance properties is introduction of ultradispersed fillers (nanomodifiers) into the composition of binder. The effect of introduction of nanoparticles into concrete is expressed in the fact that not only an additional phase interface appears in the system, but also a carrier of quantum-mechanical manifestations emerges [1, 2, 3].

From the nanoscale point of view, the particles possess qualitative effects determined by the dependence of chemical and physical properties on the ratio of the num-

ber of atoms in the near-surface and internal volumes of the particles. Such particles and their ensembles acquire a different physicochemical and mechanochemical activity that can radically change the processes of structure formation synthesis and change the thermodynamic and energy situation in a dispersed system, such as the structure of a cement stone on a quartz-ash-cement binder [2, 3, 4].

Artificial nanotechnology creates nanosystems in both ways: “top-down” and “bottom-up”. It is already well-known phenomena of nanostructured objects self-organization which involve the processes of self-organization of substances at the atomic-molecular level, that makes it possible to create unique objects without external influence. [5].

Cement hydration products in the form of tiny particles – submicrocrystals – with sizes less than 0.1 microns create a colloidal system in the interlayers between hydrated cement grains: tobermorite gel. Coagulation contacts appear between the particles, which leads to the formation of a coagulation structure. A feature of these contacts is the obligatory presence between the particles of a thin stable layer of film water (disperse medium) [6, 7].

The physical contacts of the coagulation structure of the cement gel result in a migration of atoms, there are more significant attraction forces between the atoms, which leads to a tendency of self-organization of cluster structures [8, 9].

The presence of nanoparticles in the system can significantly change the processes of hydration and hardening of the concrete mix. When choosing a system of requirements for nanoparticles as concrete structure modifiers, we can distinguish: structure-forming and technological aspects, reflecting the phenomena and mechanisms of formation of the structure of high-strength concretes, explaining the effects of nanomodification and characterizing the impact of nanomodifiers in the structure of concrete; structure-forming participation and modifying effect of nanosized particles, which increase package density of capillary-bound and free water, as well as a significant chemical participation of nanosized particles in heterogeneous processes of phase formation of hydrated compounds. At the same time, during the colloidizing and nucleation stages and phase formation, nanoparticles are mainly defined by specific surface energy, nanoscale particles are determined mainly by the specific surface energy, which is a function of the particle size and the specific surface area of their surface.

In the general formulation of the problem concerning the development of a nanosystem, one should consider structure-forming and technological aspects that reflect the processes and mechanisms of structure formation, as well as the compatibility of the surface energy of nanoparticles with chemical additives and the technology for introducing nanomodifiers into the structure of a concrete mixture, which is the result of an increase in the packing density of nanodispersed particles and chemical participation of nanoparticles in heterogeneous processes of phase formation of hydrate compounds and self-organization of substances at the atomic-molecular level [10].

This possibility is determined both by the chemical-mineralogical composition of the particles and by the high values of their specific surface area and, as a consequence, by the specific surface energy. This will fill the microporosity of the cement stone, but also significantly reduce the amount of capillary-bound and free water, while compacting the nanosystem of hydrate formations. [11, 12].

At the stage of the coagulation period, nanoquartz particles act as a substrate of crystalline seeds of crystallization centers. The most important factors in the implementation of these mechanisms are the physicochemical properties of nanoparticles and their size, which determines the duration of the mechanisms and the concentration of nanoparticles per unit volume of the hardening system of cement stone on a quartz-ash-cement binder [13].

## METHODS AND MATERIALS

The optimal raw material resource for the production of building materials in Omsk is the ash from the hydraulic removal of Omsk CHPP. More than 75 million tons of hydraulic ash have been accumulated on ash dumps with a total area of 755 hectares. On the territory of Omsk, three CHP plants of six operate with Ekipastuz coal, the ash content of which reaches 65%, consisting of chemical elements (carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen) and mineral parts (clay minerals, which include oxides of silicon and metals, hydroxides metals, silicates Al, Mg carbonates Fe, Mg, Ca).

The main requirement for the successful use of hydro-removal ash CHPP-5 is the stability of their physico-chemical parameters and the ability to exhibit pozzolanic activity with cement hydration products, the ability to bind calcium hydroxide at ordinary temperatures with the formation of insoluble compounds [14, 15].

In this regard, the purpose of the research is to obtain a cement stone with high physical and mechanical properties due to a nanomodifier obtained by mechanical, mechanohydraulic ( $H_2O$ ) and mechanohydrochemical ( $H_2O +$  Megalit S-3ML additive) activation, based on ultrafine ash from the hydraulic removal of Omsk CHPP-5 and quartz waste as an enhancer of pozzolanic activity to hydro-removal ash [16].

In studies quartz waste from the production of highly pure quartz concentrate and hydro-removal ash from Omsk CHPP-5 was used as a material for cement stone on the basis of quartz-ash-cement binder. The content of hydro-removal ash oxides and quartz waste is presented in Table 1.

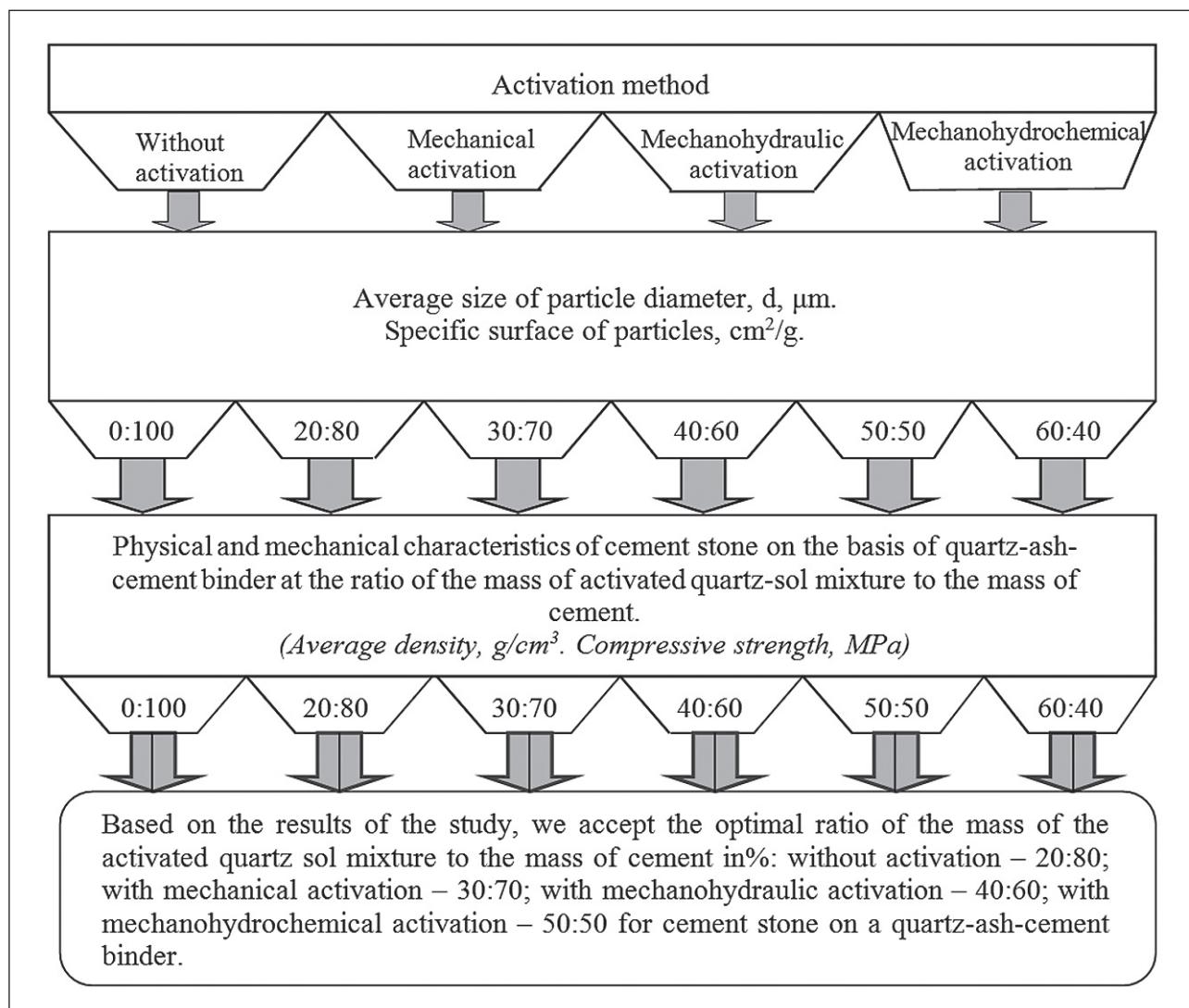
The block diagram of the study of the physical and mechanical properties of cement stone on a quartz-ash-cement binder is shown in Figure 1.

Activation of the quartz-sol mixture was carried out in a continuous rotary mill "Vyuga-3", shown in fig. 2.

Mechanical method provides only mechanical activation. The mechanohydraulic method provides ( $\rho_{H_2O} = 1\text{kg/m}^3$ ) mechanical, hydraulic, turbulent and acoustic activations. The presence of finely ground active dust in a solution of film water obtained from the activation of quartz waste and hydro-removal ash is also involved in the processes of structure formation synthesis. With the mechanohydrochemical method, respectively,

*Table 1*  
**Oxide content, % mass**

Name	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	ppp
Quartz waste	98–99	0.1–0.3	0.1–0.2	0.1–0.3	0.0–0.1	–	0.2–0.3	0.2–0.5	2.1–3.0
Ashes of hydroremoval	51–60	24–32	3.5–8.3	1.1–2.1	0.2–1.5	0.4–0.7	0.1–1.4	0.3–0.7	5.2–5.5



**Fig. 1. Block diagram of the study of the physical and mechanical properties of cement stone on a quartz-ash-cement binder**

all methods of hydraulic activation and chemical, which affects the mechanisms of cement hydration, being in a solution of film water, contribute to a more active participation in the processes of formation of the crystalline ordered structure of cement stone at the atomic and molecular level. The plasticizing additive Megalit S-3 ML

in an aqueous solution was used as a chemical reagent ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}+\text{C-3ML}} = 1.15 \text{ kg/m}^3$ ) [17–22].

To determine the content and size of ultrafine particles of quartz waste and hydro-removal ash particles obtained as a result of activation, a laser analyzer "MicroSizer 201" was used.

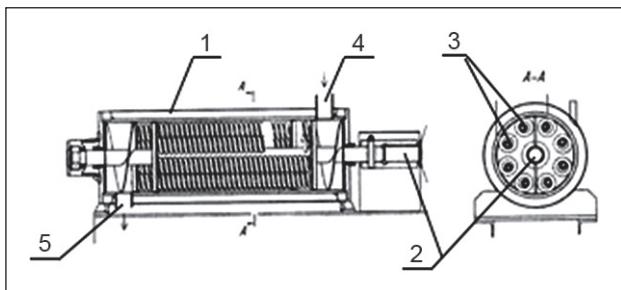


Fig. 2. Continuous rotary mill “Vyuga-3”. Grinding bodies arrangement: 1 – cylindrical body, 2 – cylindrical grinding bodies – cylindrical spirals (8 pcs.), 3 – shaft with vertical plates for fastening cylindrical spirals (8 pcs.), fixed in the body with bearings, 4 – loading window , 5 – window for dispensing activated material

## RESULTS AND DISCUSSION

The obtained results of the weight distribution of particles of hydroremoval ash and quartz after activation show that the average particle size is from 25  $\mu\text{m}$  to 1.5  $\mu\text{m}$  (nanoparticles) with a specific surface area from 967 to 7729  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Dispersion and particle content of

activated hydro-removal ash are shown in the figure in the article [23].

Based on the results of the study, we accept the optimal ratio of the mass of the activated quartz sol mixture to the mass of cement in%: without activation – 20:80; with mechanical activation – 30:70; with mechanochemical activation – 40:60; with mechanochemical activation – 50:50 for cement stone on a quartz-ash-cement binder.

The strength of the cement stone was determined on samples prepared from quartz-ash-cement dough of normal density, 2×2×2 cm in size, for each composition according to the structural scheme of the study. The tests were carried out in accordance with the requirements of GOST 10180-2012. The compressive strength of the samples was determined on a “Matest” press. The physical and mechanical parameters of the obtained samples were determined at the age of 28 days and are presented in table 2.

The obtained results of the strength of samples of cement stone on a quartz-ash-cement binder with respect masses of activated quartz sol mixture to the mass of cement: without activation (20:80) – durability increases by 23%; with mechanical activation (30:70) – strength increases by 31%; with mechanochemical activation

Table 2

Physical and mechanical properties of cement stone on quartz-ash-cement binder

Activation method	Physical and mechanical properties of samples	Attitude masses of activated quartz sol mixture to the mass of cement for cement stone, %					
		0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
without activation, average particle diameter – $d = 25 \mu\text{m}$ , specific surface area – 967 $\text{cm}^2/\text{g}$	average density, $\text{kg}/\text{m}^3$	2399	2447	2454	2445	2449	2455
		100%	102%	102.3%	101.9%	102.1%	102.5%
	compressive strength, MPa	62.9	77.3	76.7	74.8	72.3	71.1
		100%	123%	122%	119%	115%	110%
mechanical activation, average particle diameter – $d = 6 \mu\text{m}$ , specific surface – 2911 $\text{cm}^2/\text{g}$	average density, $\text{kg}/\text{m}^3$	2400	2435	2450	2455	2458	2474
		100%	101.5%	102.1%	102.3%	102.4%	103.1%
	compressive strength, MPa	63.08	79.1	82.8	80.3	78.4	76.5
		100%	125.1%	131%	127%	124%	121%
Mechanochemical activation $\rho_{zh} = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ the average size of the particle diameter is $d = 3 \mu\text{m}$ , specific surface area 5491 $\text{cm}^2/\text{g}$	average density, $\text{kg}/\text{m}^3$	2411	2435	2447	2451	2453	2452
		100%	101%	101.5%	101.8%	102%	101.9%
	compressive strength, MPa	63.03	80.2	83.1	87.8	85.3	82.1
		100%	127%	133.1%	139%	135%	130%
Mechanochemical activation (water + chemical additive) $\rho_l = 1.15 \text{ g}/\text{cm}^3$ , the average size of the particle diameter is $d = 1.5 \mu\text{m}$ , specific surface 7729 $\text{cm}^2/\text{g}$	average density, $\text{kg}/\text{m}^3$	2419	2453	2470	2479	2489	2504
		100%	101.4%	102.1%	102.5%	102.9%	103.5%
	compressive strength, MPa	63.07	82.8	90.36	97.38	100.45	96.67
		100%	131%	143%	154%	159%	153%

(40:60) – strength increases by 39% and with mechanochemical activation (50:50) – strength increases by 59%.

## CONCLUSION

The use of nanoparticles in a quartz-sol mixture makes it possible to increase the strength characteristics of cement stone from 23 to 59%.

The use of quartz waste from the production of highly pure quartz concentrate and hydraulic ash from Omsk CHPP-5, using the proposed technologies for their activation, will improve the structure of the cement stone by increasing the package density and chemical activity of nanoparticles in the processes of phase formation of hydrated compounds, this will reduce intergranular space between non-hydrated cement grains and improve the physical and

mechanical characteristics of the cement stone. The use of activated quartz waste with increased specific surface energy, like a highly reactive pozzolana, contributes to the production of a stronger and more durable cement stone. The hydraulic ash from the Omsk CHPP-5 on the optimal quartz-ash-cement binder for industrial and civil construction can contribute to significant investments in the Omsk region, which will positively affect the economic, social and environmental situation in the district.

At present, the wide application of quartz sol raw materials in construction can be considered as practically achievable and economically viable measures. The implementation of a quartz-ash-cement binder with rational grain composition makes it possible to increase the homogeneity of the concrete mix, reduce the consumption of cement, and also solve the problem of recycling quartz waste and hydraulic ash.

## REFERENCES

1. Gusev B.V. *The strength of a polydisperse composite material, such as cement concrete, and the features of the stress-strain state of such a material under the action of compressive loads*. Moscow: TsISN; 2003.
2. Gusev B.V. Concrete with fillers of various dispersion and their nanomodification. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 10(4): 384–393. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-384-393](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-384-393).
3. Gusev B.V. *Development of nanoscience and nanotechnologies*. In: Proceedings of International scientific and technical conference “Composite building materials. Theory and practice”. Penza: Volga House of Knowledge; 2007. p. 70–73.
4. Gusev B.V. [and others] *Formation of the structure of composite materials and their properties*. Moscow: Nauch. world; 2006.
5. Baloyan B.M., Kolmakov A.G., Alymov M.I., Krotov A.M. *Nanomaterials. Classification, features of properties, application and production technologies: textbook*. Moscow; 2007.
6. Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Pedun G.A., Prezhin S.E. *The use of activated waste on the physical and mechanical properties of cement stone*. In the collection: “Modern Engineering Problems of Key Industries. Modern tasks of engineering sciences”. Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium and the III International Kosygin Forum. Moscow, 2021; p. 175–186.
7. Vavrenyuk S.V., Orentlicher L.P., Alikovsky A.V. Cement-polymer coatings based on “cryptoheterogeneous” water-soluble polymers for the secondary protection of enclosing structures. *Vestnik RAASN*. 2005; 9: 145–147.
8. Lesovik V.S. On the development of the scientific direction “Nanosystems in building materials science”. *Building materials*. 2006; 28: 18–20.
9. Voronkov M.G., Maletina E.A., Rollan A.K. *Heterosiloxanes*. The science. Novosibirsk; 1984.
10. Vavrenyuk S.V., Orentlicher L.P., Alikovsky A.V. Cement-polymer coatings based on “cryptoheterogeneous” water-soluble polymers for the secondary protection of enclosing structures. *Vestnik RAASN*. 2005; 9: 145–147.
11. Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Pedun G.A., Gutareva N.A. Development of sand concrete composition based on slurry-cement binders. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2020; 1-2(252-253): 34–37.
12. Kuznetsova I.N., Darulis M.A., Kosach A.F. Technology of foam concrete production with ultradispersed quartz waste. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012031.
13. Batrakov V.G. *Modified concrete*. Moscow: Stroyizdat; 1998.
14. Kosach A.F., Rashchupkina M.A., Kuznetsova I.N., Darulis M.A. Influence of ultradisperse filler based on hydroremoval ash on the properties of cement stone. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019; 21(1): 150–158.
15. Kuznetsova I.N. The influence of quartz waste addition on the porosity of cement stone. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1989: 012042.

STUDYING THE PROPERTIES OF NANOMATERIALS

16. Sivkov S.P. Modern aspects of the processes of structure formation during the hydration of cements. In: *Proceedings of the MNTK "Science and technology of silicates"*. Moscow; 2003.
17. Darulis M.A., Kuznetsova I.N., Kosach A.F. Structure and properties of the cement stone modified by ultra-dispersed quartz waste. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012032.
18. Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Kurbanova R.B., Pedun G.A., Prezhin S.E. Evaluation of the impact of quartz waste on the physical and mechanical properties of cement stone. *News of higher educational institutions. Construction*. 2020; 10(742): 17–26.
19. Ivanov L.A., Muminova S.R. New technical solutions in the field of nanotechnology. Part 1. *Nanotechnologies in construction*. 2016; 8(2): 52–70. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70).
20. Ivanov L.A., Muminova S.R. New technical solutions in the field of nanotechnology. Part 3. *Nanotechnologies in Construction*. 2016; 8(4): 93–110. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2016-8-4-93-110](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-4-93-110).
21. Kuznetsova I.N. *Influence of the chemical and mineral composition of cement on the thermal insulation properties of foam concrete*. [dissertation]. Novosibirsk; 2009.
22. Kuznetsova I.N. The technology for concrete production using an activated mixture of wood processing waste and sand. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1093 012018.
23. Kosach A.F., Rashchupkina M.A., Pedun G.A., Kurbanova R.B. Evaluation of the influence of highly dispersed ash-mineral raw materials on the physical and mechanical properties of cement stone. *News of higher educational institutions. Construction*. 2020; 11(743): 42–50.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Anatoly F. Kosach** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian state automobile and road University (SibADI), Omsk, Russia, Kosach47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6461-2829>

**Irina N. Kuznetsova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia, inkuznetsova-gsh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4907-2369>

**Marina A. Rashchupkina** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Siberian state automobile and road University (SibADI), Omsk, Russia, rma.sibadi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0643-6353>

**Gennady A. Pedun** – Post-graduate student, Siberian state automobile and road University (SibADI), Omsk, Russia, pedun\_ga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2863-756X>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

**The authors declare no conflicts of interests.**

The article was submitted 06.01.2022; approved after reviewing 02.03.2022; accepted for publication 09.03.2022.

## Цементный камень на кварцеволоцементном вяжущем

Анатолий Федорович Косач<sup>1</sup> , Ирина Николаевна Кузнецова<sup>2\*</sup> , Марина Алексеевна Ращупкина<sup>1</sup> ,  
Геннадий Алексеевич Педун<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия

<sup>2</sup> Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: [inkuznetsova-gsh@mail.ru](mailto:inkuznetsova-gsh@mail.ru)

**АННОТАЦИЯ: Введение.** Одним из перспективных направлений в формировании структуры бетона на минеральном вяжущем с заданными эксплуатационными свойствами является введение в состав вяжущего ультрадисперсных наполнителей (наномодификаторов). В качестве наномодификаторов использовали активированные отходы кварца и золы гидроудаления. Присутствие наноразмерных частиц в вяжущем может существенным образом изменить процессы гидратации и твердения бетонной смеси. **Методы и материалы.** В качестве материалов для цементного камня на кварцеволоцементном вяжущем использовали кварцевые отходы от производства особо чистого кварцевого концентрата как усилителя пущцолановой активности к золам гидроудаления, золы гидроудаления Омской ТЭЦ-5, цемент. Наномодификатор получали при механической, механогидравлической ( $H_2O$ ) и механогидрохимической ( $H_2O +$  добавка Мегалит С-ЗМЛ) активациях. Активация кварцеволовой смеси проводилась в мельнице непрерывного действия роторного типа. При механическом способе осуществляется только механическая активация, при механогидравлическом способе – все способы гидравлической активации, и химическая. **Результаты и обсуждения.** В статье исследован цементный камень на кварцеволоцементном вяжущем (активированные кварцевые отходы и золы гидроудаления Омских ТЭЦ-5, цемент). Рассмотрены технологии активации кварцеволовой смеси путем увеличения удельной поверхности дисперсной фазы для производства кварцеволоцементного вяжущего различного назначения. Полученные результаты весового распределения частиц зол гидроудаления и кварца до и после активации показывают, что средний размер диаметра частиц составляет от 25 до 1,5 мкм (наноразмерных частиц) при удельной поверхности от 967 до 7729 см<sup>2</sup>/г. **Заключение.** Применение наноразмерных частиц в кварцеволовой смеси позволяет увеличить прочностные характеристики цементного камня от 23 до 59%. Использование кварцевовых отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата и зол гидроудаления Омской ТЭЦ-5 с применением предложенных технологий их активации позволит улучшить структуру цементного камня на кварцеволоцементном вяжущем за счет повышения плотности упаковки и химической активности наноразмерных частиц в процессах фазообразования гидратных соединений, что снизит межзерновую пустотность между непрогидратированными зернами цемента и улучшит физико-механические характеристики цементного камня. Использование активированных кварцевовых отходов с повышенной удельной поверхностной энергией как высоко-реакционного пущцолана способствует получению более прочного и долговечного цементного камня.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кварц, золы гидроудаления, кварцеволоцементное вяжущее, цементный камень, наночастица, наномодификатор, наполнитель.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Ращупкина М.А., Педун Г.А. Цементный камень на кварцеволоцементном вяжущем // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 83–88. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-83-88>.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в формировании структуры бетона на минеральном вяжущем с заданными эксплуатационными свойствами является введение в состав вяжущего ультрадисперсных наполнителей (наномодификаторов). Эффект от введения наноразмерных частиц в бетон

выражается в том, что в системе появляется не только дополнительная граница раздела фаз, но и носитель квантово-механических проявлений [1, 2, 3].

В области наноразмерного масштаба частицы имеют качественные эффекты, определяемые зависимостью химических и физических свойств от соотношения числа атомов в приповерхностных и внутренних объемах частиц. Такие частицы и их

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

ансамбли приобретают иную физико-химическую и механохимическую активность, в силу чего могут принципиальным образом изменять процессы синтеза структурообразования и менять термодинамическую и энергетическую обстановку в дисперсной системе, какой является структура цементного камня на кварцезолоцементном вяжущем [2, 3, 4].

Искусственная нанотехнология создает наносистемы, как «сверху-вниз» так и «снизу-вверх». Уже сейчас известны явления самоорганизации наноструктурированных объектов, в которых участвуют процессы самоорганизации веществ на атомно-молекулярном уровне, позволяющие создать уникальные объекты без внешнего влияния [5].

Продукты гидратации цемента в виде мельчайших частиц – субмикрокристаллов – с размерами меньше 0,1 мкм создают в прослойках между гидратированными зернами цемента коллоидную систему – тоберморитовый гель. Между частицами возникают коагуляционные контакты, что и приводит к образованию коагуляционной структуры. Особенностью этих контактов является обязательное наличие между частицами тонкой устойчивой прослойки плёночной воды (дисперсионной среды) [6, 7].

В результате физических контактов коагуляционной структуры цементного геля происходит облегченность миграции атомов, наблюдаются более выраженные силы притяжения между атомами, что приводит к склонности самоорганизации кластерных структур [8, 9].

Присутствие в системе наноразмерных частиц может существенным образом изменить процессы гидратации и твердения бетонной смеси. При определении системы требований к наноразмерным частицам как к модификаторам структуры бетонов можно выделить структурообразующий и технологический аспекты, отражающие явления и механизмы формирования структуры высокопрочных бетонов, объясняющие эффекты наномодифицирования и характеризующие способы введения наномодификаторов в структуру бетона; структурообразующее участие и модифицирующее влияние наноразмерных частиц, которые обеспечивают повышение плотности упаковки объема капиллярно-связанной и свободной воды, а также непосредственное химическое участие наноразмерных частиц в гетерогенных процессах фазообразования гидратных соединений. При этом на стадии коллоидации, зародышеобразования и фазообразования, когда наноразмерные частицы выступают в роли кристаллических затравок и центров кристаллизации, определяются наноразмерные частицы, главным образом, удельной поверхностью энергии, которая является функцией размера частиц и удельной площади их поверхности.

В общей постановке задачи в разработки наносистемы следует рассматривать структурообразующие и технологические аспекты, отражающие процессы и механизмы формирования структуры, а также совместимости поверхностной энергии наноразмерных частиц с химическими добавками и технологией введения наномодификаторов в структуру бетонной смеси, что является результатом повышения плотности упаковки наносистемы дисперсных частиц и химического участия наноразмерных частиц в гетерогенных процессах фазообразования гидратных соединений и самоорганизации веществ на атомно-молекулярном уровне [10].

Такая возможность определяется как химико-минералогическим составом частиц, так и высокими значениями удельной площади их поверхности и, как следствие, удельной поверхностной энергией. Все это позволит не только заполнить микропористость цементного камня, но и значительно снизить количество капиллярносвязанной и свободной воды, уплотнив при этом наносистему гидратных образований [11, 12].

Также на стадии коагуляционного периода наноразмерные кварцевые частицы выступают в роли подложки кристаллических затравок центров кристаллизации. Важнейшими факторами реализации данных механизмов являются физико-химические свойства наноразмерных частиц и их размер, который определяет длительность работы механизмов и концентрацию наноразмерных частиц в единице объема твердеющей системы цементного камня на кварцезолоцементном вяжущем [13].

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Оптимальным сырьевым ресурсом для производства строительных материалов в городе Омске являются золы гидроудаления Омских ТЭЦ. На золоотвалах Омских ТЭЦ-5 общей площадью 755 га в настоящее время скопилось более 75 млн т зол гидроудаления. На территории г. Омска три ТЭЦ-5 из шести работают на Экибастузском угле, зольность которого достигает 65%, состоящая из химических элементов (углерода, водорода, кислорода, азота) и минеральных частей (минералов глин, которые включают в себя оксиды кремния и металлов, гидроксиды металлов, силикатов Al, Mg карбонатов Fe, Mg, Ca).

Основным требованием, обеспечивающим успешное применение зол гидроудаления ТЭЦ-5, является стабильность их физико-химических показателей и явной или скрытой способности проявлять пущцолановую активность с продуктами гидратации цемента, способность при обычных температурах связывать гидроксид кальция с образованием нерастворимых соединений [14, 15].

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В связи с этим цель исследований состоит в получении цементного камня с высокими физико-механическими показателями за счет наномодификатора, полученного при механической, механогидравлической ( $H_2O$ ) и механогидрохимической ( $H_2O +$  добавка Мегалит С-3МЛ) активациях, на основе ультрадисперсной золы гидроудаления Омской ТЭЦ-5 и кварцевых отходов как усилителя пущолановой активности к золам гидроудаления [16].

В исследованиях в качестве материалов для цементного камня на кварцезолоцементном вяжущем использовали кварцевые отходы от производства особо чистого кварцевого концентрата и золы гидроудаления Омской ТЭЦ-5. Содержание оксидов

золы гидроудаления и отходов кварца представлено в табл. 1.

Структурная схема исследования физико-механических показателей цементного камня на кварцезолоцементном вяжущем представлена на рис. 1.

Активация кварцеволовой смеси проводилась в мельнице непрерывного действия роторного типа «Выюга-3», представлена на рис. 2.

При механическом способе осуществляется только механическая активация. При механогидравлическом способе ( $\rho_{H_2O} = 1\text{ кг}/\text{м}^3$ ) – механическая, гидравлическая, турбулентная и акустическая активации. Присутствие тонкомолотой активной пыли в растворе пленочной воды, полученной от активации квар-

**Таблица 1**  
Содержание оксидов, % масс

Наименование	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$P_2O_5$	$Na_2O$	$K_2O$	ППП
Отходы кварца	98–99	0,1–0,3	0,1–0,2	0,1–0,3	0,0–0,1	–	0,2–0,3	0,2–0,5	2,1–3,0
Золы гидроудаления	51–60	24–32	3,5–8,3	1,1–2,1	0,2–1,5	0,4–0,7	0,1–1,4	0,3–0,7	5,2–5,5

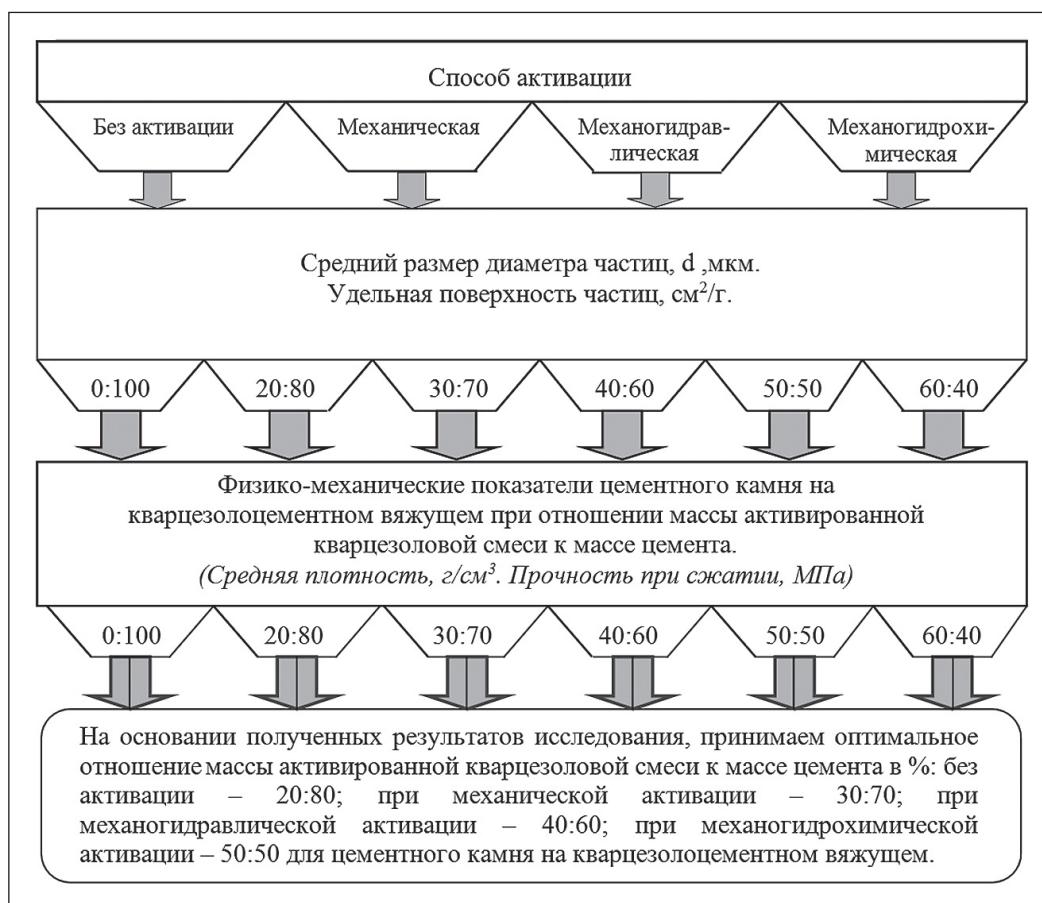
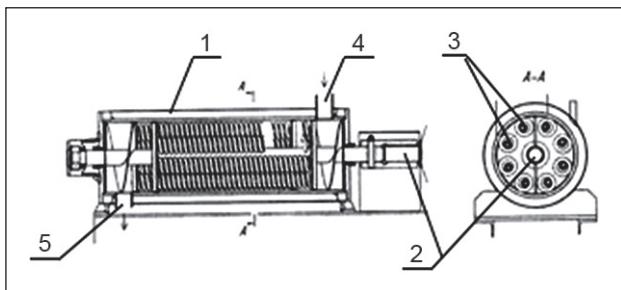


Рис. 1. Структурная схема исследования физико-механических показателей цементного камня на кварцезолоцементном вяжущем

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ



**Рис. 2. Мельница непрерывного действия роторного типа «Выгода-3».** Расположение мелющих тел:

1 – цилиндрический корпус; 2 – цилиндрические мелющие тела – цилиндрические спирали (8 шт.); 3 – вал с вертикальными пластинами для крепления цилиндрических спиралей (8 шт.), закрепленный в корпусе с помощью подшипников; 4 – загрузочное окно; 5 – окно выдачи активированного материала

цевых отходов и золы гидроудаления, также участвует в процессах синтеза структурообразования. При механиогидрохимическом способе, соответственно, все способы гидравлической активации и химическая, которая влияет на механизмы гидратации цемента, находясь в растворе пленочной воды, способствуют более активному участию в процессах форми-

рования кристаллической упорядоченной структуры цементного камня на атомно-молекулярном уровне. В качестве химического реагента применялась пластифицирующая добавка Мегалит С-3 МЛ в водном растворе ( $\rho_{H_2O+C-3ML} = 1,15 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) [17–22].

Для определения содержания и размеров ультрадисперсных частиц кварцевых отходов и частиц золы гидроудаления, полученных в результате активации, применяли лазерный анализатор «MicroSizer 201».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Полученные результаты весового распределения частиц зол гидроудаления и кварца после активации показывают, что средний размер диаметра частиц составляет от 25 до 1,5 мкм (наноразмерные частицы) при удельной поверхности от 967 до 7729 см<sup>2</sup>/г. Дисперсность и содержание частиц активированных зол гидроудаления представлены на рис. в работе [23].

На основании полученных результатов исследования приняли оптимальное отношение массы активированной кварцеволовой смеси к массе цемента в %: без активации – 20:80; при механической активации – 30:70; при механиогидравлической активации – 40:60; при механиогидрохимической активации – 50:50 для цементного камня на кварцеволоцементном вяжущем.

Таблица 2

Физико-механические показатели цементного камня на кварцеволоцементном вяжущем

Способ активации	Физико-механические показатели образцов	Отношение массы активированной кварцеволовой смеси к массе цемента для цементного камня, %					
		0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
Без активации, средний размер диаметра частиц – $d = 25 \text{ мкм}$ , удельная поверхность – 967 см <sup>2</sup> /г	средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2399	2447	2454	2445	2449	2455
	100%	102%	102,3%	101,9%	102,1%	102,5%	
	прочность при сжатии, МПа	62,9	77,3	76,7	74,8	72,3	71,1
	100%	123%	122%	119%	115%	110%	
Механическая активация, средний размер диаметра частиц – $d = 6 \text{ мкм}$ , удельная поверхность – 2911 см <sup>2</sup> /г	средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2400	2435	2450	2455	2458	2474
	100%	101,5%	102,1%	102,3%	102,4%	103,1%	
	прочность при сжатии, МПа	63,08	79,1	82,8	80,3	78,4	76,5
	100%	125,1%	131%	127%	124%	121%	
Механиогидравлическая активация $\rho_* = 1 \text{ см}^2/\text{г}$ , средний размер диаметра частиц – $d = 3 \text{ мкм}$ , удельная поверхность 5491 см <sup>2</sup> /г	средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2411	2435	2447	2451	2453	2452
	100%	101%	101,5%	101,8%	102%	101,9%	
	прочность при сжатии, МПа	63,03	80,2	83,1	87,8	85,3	82,1
	100%	127%	133,1%	139%	135%	130%	
Механиогидрохимическая активация (вода + химическая добавка) $\rho_* = 1,15 \text{ см}^2/\text{г}$ , средний размер диаметра частиц – $d = 1,5 \text{ мкм}$ , удельная поверхность 7729 см <sup>2</sup> /г	средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2419	2453	2470	2479	2489	2504
	100%	101,4%	102,1%	102,5%	102,9%	103,5%	
	прочность при сжатии, МПа	63,07	82,8	90,36	97,38	100,45	96,67
	100%	131%	143%	154%	159%	153%	

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Прочность цементного камня определялась на образцах, приготовленных из кварцеволоцементного теста нормальной густоты, размером  $2 \times 2 \times 2$  см, для каждого состава согласно структурной схеме исследования. Испытания проводились согласно требованием ГОСТ 10180-2012. Прочность образцов при сжатии определялась на прессе «Matest». Физико-механические показатели полученных образцов определялись в возрасте 28 суток, представлены в табл.2.

Полученные результаты прочности образцов цементного камня на кварцеволоцементном вяжущем при отношении массы активированной кварцеволоцементной смеси к массе цемента: без активации (20:80) – прочность увеличивается на 23%; при механической активации (30:70) – прочность увеличивается на 31%; при механогидравлической активации (40:60) – прочность увеличивается на 39% и при механогидрохимической активации (50:50) прочность увеличивается на 59%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение наноразмерных частиц в кварцеволоцементной смеси позволяет увеличить прочностные характеристики цементного камня от 23 до 59%.

Использование кварцевых отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата и зол

гидроудаления Омской ТЭЦ-5, с применением предложенных технологий их активации, позволит улучшить структуру цементного камня за счет повышения плотности упаковки и химической активности наноразмерных частиц в процессах фазообразования гидратных соединений, что снизит межзерновую пустотность между непрогидратированными зернами цемента и улучшит физико-механические характеристики цементного камня. Использование активированных кварцевых отходов с повышенной удельной поверхностной энергией как высококореакционного пущолана способствует получению более прочного и долговечного цементного камня. Золы гидроудаления Омской ТЭЦ-5 на оптимальном кварцеволоцементном вяжущем для промышленного и гражданского строительства могут способствовать значительным инвестициям в регион Омской области, что положительно скажется на экономическом, социальном и экологическом положении в округе.

В настоящее время можно считать практически достижимым и экономически выгодным массовое внедрение кварцевового сырья в строительство. Введение кварцеволоцементного вяжущего с рациональным зерновым составом позволяет повысить однородность бетонной смеси, снизить расход цемента, а также решить проблему утилизации кварцевых отходов и золы гидроудаления.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гусев Б.В. Прочность полидисперсного композиционного материала, типа цементного бетона и особенности напряженно-деформированного состояния такого материала при действии сжимающих нагрузок / Б.В. Гусев. М.: ЦИСН, 2003. 37 с.
2. Гусев Б.В. Бетоны с наполнителями различной дисперсности и их наномодификация // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Том 10, № 4. С. 384–393. DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-4-384-393](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-384-393).
3. Гусев Б.В. Развитие нанонауки и нанотехнологий // Международная научно-техническая конференция «Композиционные строительные материалы. Теория и практика». Пенза: Поволжский дом знаний, 2007. С. 70–73.
4. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства / Б.В. Гусев [и др.]; под общ. ред. Б.В. Гусева; Российская инженерная акад., Московский гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). Москва: Науч. мир, 2006. 559 с.
5. Балоян Б.М., Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: учебное пособие / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. М. 2007. 125 с.
6. Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Педун Г.А., Прежин С.Е. Применение активированных отходов на физико-механические свойства цементного камня // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности. Современные задачи инженерных наук: сб. научных трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского Форума. Москва. 2021. С. 175–186.
7. Вавренюк С.В, Орентлихер Л.П, Аликовский А.В. Цементно-полимерные покрытия на основе «криптоуглеродных» водорастворимых полимеров для вторичной защиты ограждающих конструкций // Вестник РААСН. 2005. вып. 9. С. 145–147.
8. Лесовик В.С., О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 28. 18–20 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

9. Воронков М.Г, Малетина Е.А., Роллан А.К. Гетеросилоксаны. Наука. Новосибирск. 1984.
10. Вавренюк С.В, Орентлихер Л.П, Аликовский А В. Цементно -полимерные покрытия на основе «криптогетерогенных» водорастворимых полимеров для вторичной защиты ограждающих конструкций // Вестник РААСН. 2005.вып. 9. С. 145–147.
11. Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Педун Г.А., Гутарева Н.А. Разработка состава пескобетона на основе шламоцементных вяжущих // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2020. № 1-2 (252-253). С. 34–37.
12. Kuznetsova I.N., Darulis M.A., Kosach A.F. Technology of foam concrete production with ultradispersed quartz waste. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012031.
13. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М., Стройиздат, 1998.
14. Косач А.Ф., Ращупкина М.А., Кузнецова И.Н., Дарулис М.А. Влияние ультрадисперсного наполнителя на основе золы гидроудаления на свойства цементного камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21, № 1. С. 150–158.
15. Kuznetsova I.N. The influence of quartz waste addition on the porosity of cement stone. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1989: 012042.
16. Сивков СП. Современные аспекты процессов структурообразования при гидратации цементов // Труды МНТК «Наука и технология силикатов». М. 2003.
17. Darulis M.A., Kuznetsova I.N., Kosach A.F. Structure and properties of the cement stone modified by ultra-dispersed quartz waste. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012032.
18. Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Курбанова Р.Б., Педун Г.А., Прежин С.Е. Оценка влияния кварцевых отходов на физико-механические свойства цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 10 (742). С. 17–26.
19. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. 2016. Том 8, № 2. С. 52–70. DOI: [10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70).
20. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 3 // Нанотехнологии в строительстве. 2016. Том 8, № 4. С. 93–110. DOI: [10.15828/2075-8545-2016-8-4-93-110](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-4-93-110).
21. Кузнецова И. Н. Влияние химического и минерального состава цемента на теплоизоляционные свойства пенобетона: дис. ... к.т.н.; 05.23.05. Новосибирск, 2009.
22. Kuznetsova I.N. The technology for concrete production using an activated mixture of wood procession waste and sand. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1093 012018.
23. Косач А.Ф., Ращупкина М.А., Педун Г.А., Курбанова Р.Б. Оценка влияния высокодисперсного золоминерального сырья на физико-механические свойства цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 11(743). С. 42–50.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Косач Анатолий Федорович** – д-р техн. наук, проф., Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия, Kosach47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6461-2829>

**Кузнецова Ирина Николаевна** – канд. техн. наук, доцент, руководитель образовательной программы, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия, inkuznetsova-gsh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4907-2369>

**Ращупкина Марина Алексеевна** – канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия, rma.sibadi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0643-6353>

**Педун Геннадий Алексеевич** – аспирант, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия, pedun\_ga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2863-756X>

ВКЛАД АВТОРОВ

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Статья поступила в редакцию 06.01.2022; одобрена после рецензирования 02.03.2022; принятая к публикации 09.03.2022.

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-89-95>

CC BY 4.0

## Phase-structural heterogeneity and activity of the surface of polymineral sand powders

Marina V. Morozova<sup>1,2,\*</sup> , Arkadiy M. Ayzenshtadt<sup>2</sup> , Marina V. Akulova<sup>1</sup> , Mariya A. Frolova<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

<sup>2</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

\* Corresponding author: e-mail: m.morozova@narfu.ru

**ABSTRACT: Introduction.** The value of the specific surface ( $S_{sp}$ ), the degree of crystallinity (C, %) and surface activity ( $k_s$ ) plays an important role in creating various compositions. The increase in the size of  $S_{sp}$  is associated with a change in the "C" of rock powders, the value of which characterizes the properties of fillers. The reactivity of the finely dispersed material can be determined by the value of  $k_s$ , which allows quantifying transition of the potential energy into free surface energy by activating the surface of the raw material. Therefore, determining the functional relationship between the parameters characterizing the reactivity of rock powders is an urgent task. **Methods and Materials.** Four deposits of polymineral construction sands are selected as raw materials. To obtain fine powders, the samples were ground by dry dispersion. The specific surface area of rock systems was determined by gas sorption. Crystallinity was calculated from the X-ray diffractogram of the samples. **Results and Discussion.** The certain sizes of specific surfaces for highly dispersed rocks have shown, that deposits "Kenica" and "Nekhtskoye" possess the greatest values  $S_{sp}$ . The study of the phase-structural heterogeneity of the samples, showed a significant increase of the content of the amorphous phase. At the same time, the degree of crystallinity for the sands "Kenica" and "Nekhtskoye" deposits decreases 25%. The functional relationship between the surface activity and the shares of the amorphous component (c) for highly dispersed sands was characterized by mathematical expression  $k_s = 21 \cdot 10^{-6} \cdot c + 0,58 \cdot 10^{-6}$ . The identified dependence demonstrates the relationship between the parameters of the phase-structural heterogeneity and  $k_s$  of fine-dispersed samples. **Conclusion.** The results obtained showed that mechanical dispersion contributes to the activation of raw materials. This is due to the breakability of the crystal structure of minerals and the texture of the raw materials. These characteristics are reflected in the value of the activity of the surface of fine-dispersed systems of the rocky rocks.

**KEYWORDS:** polymineral sands, specific surface area, degree of crystallinity, amorphous component, surface activity.

**ACKNOWLEDGMENTS:** The reported study was funded by RFBR, project number 19-33-60062.

**FOR CITATION:** Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Akulova M.V., Frolova M.A. Phase-structural heterogeneity and activity of the surface of polymineral sand powders. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 89–95. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-89-95>.

### INTRODUCTION

Currently, thin-fat mineral powders are of great importance for the building materials industry [1–2], the introduction of which to the production technology makes it possible to improve the quality of building materials. Sizing powders to micro- and nano-dimensional levels of particles leads to a change in a number of physicochemical properties of the systems themselves [3–4]. This approach allows significant improving the quality of composite materials. Strength, wear resistance, thermal and chemical resistance, viscosity of destruction, that

is, increase the operating period and the life cycle of the product or construction as a whole [5–9].

The most common and demanded raw materials for the production of building materials are rocks of various genesis. With mechanical dispersion of this raw material, according to the classical principles of thermodynamics, a certain work is spent, as a result of which the energy of the formation of a free surface [10–11] is released from the total energy potential of the breed.

In addition, a number of researchers noted that to create various compositions in composition, the value of the specific surface ( $S_{sp}$ ), the degree of crystallinity

and the activity of the surface ( $k_s$ ) plays an important role.

The preparation of micro- and nanoscale particles in the analyzed systems ensures the transition of part of the potential energy of the entire object due to its structure, composition and texture into excess surface energy. The dominant role in this plan is given by the specific surface, the increase of which helps to strengthen the relationship between raw materials with the composite matrix (more uniform particle size distribution is achieved), which leads to the optimization of its structure and properties [2, 6, 8, 12].

The increase in the size of  $S_{sp}$  is closely related to the degree of crystallinity of rock powders. So, it is known that the degree of crystallinity – is the ratio of the mass of the crystal part of the powder of the test sample to its total mass, expressed as a percentage or fractions. During the dispersion of rocks, the crystal lattice of the material occurs during the ultra-and nanoscale state. As a result, the intake of internal energy and the transformation of a part of the crystal structure into an amorphous phase is an important component to increase the reactivity of composites [13].

Thus, the degree of crystallinity is an indicator of a highly dispersed material, the magnitude of which characterizes the properties of fillers, and as a result, the main finish properties of the concrete composite (density, strength, frost resistance, water resistance).

In turn, as shown by our research, the reactivity of the highly dispersed material can be determined by the activity of the surface ( $k_s$ ). It is this parameter that allows you to quantify the transition of potential energy accumulated by the rock in the process of genesis, into free surface energy due to the activation of the surface of the raw material [2, 14, 15].

The definition of the value of KS is based on macroenergy rates of rock. The first is – the atomization energy ( $E_a$ , KJ/mol), which is determined as the sum of the standard enthalpy of the formation of crystals and the heat of the formation of the components of the atoms of chemical elements (values are given in reference literature [16]). The derivatives of this value are the specific mass energy of atomization ( $E_m$ , KJ/g) and the specific volumetric energy of atomization ( $E_v$ , KJ/cm<sup>3</sup>), allowing you to correctly compare rocks by energy parameters. At the same time, the  $E_v$  parameter is due to the specifics of its calculation, it allows you to characterize rock rocks for energy content [10–17].

The calculation of the value of the surface activity was carried out using the provisions of [9, 10, 14, 18], according to which this parameter is equal to  $k_s = E_s/E_m$  ratio. Free surface energy ( $E_s$ , J/kg) was calculated by the product of the values of the surface tension ( $\sigma_k$ ) of the highly dispersed system and its specific surface. For the experimental definition,  $\sigma_k$  was used the OWRK

method (Ounce, Wendt, Rabel, and Kjellble method) [4, 12, 15, 18, 19].

The purpose of the research presented in this work is to determine the possible functional relationship between the parameters characterizing the reactivity of the powders (the degree of crystallinity and the surface activity) of rocks on the example of finely dispersed systems of the polymineral sands of the most widely used fields of the Arkhangelsk and Ivanovo regions.

## METHODS AND MATERIALS

Four deposits of polymineral construction sands were chosen as raw materials for the study: the “Krasnoflotsky-Zapad” and “Kenitsy” deposits (Arkhangelsk region), the “Khromtsovskoye” deposit (the village of Khromtsovo, Ivanovo region) and the “Nekhtskoye” deposits (the village of Teterinskoye, Nerekhtsky district). The last two deposits are located in the Ivanovo region.

Before starting the experiments, the sand was washed and dried to a constant weight at 105°C. Sands size modulus and their true density (by picnometric method) were determined according to GOST 8735-88.

To obtain finely dispersed rock powders, samples, raw material, were ground to finely dispersed state by dry dispersion in a “Retsch PM100” planetary ball mill using a carbidwolfram grinding headset. The optimal dispersion conditions were selected by test to obtain a reproducible particle size with a satisfactory polydispersity of the fractions obtained.

The specific surface area of highly dispersed rock systems was determined by gas sorption, according to BET theory, on the analyzer “Autosorb-iQ-MP.”

The degree of crystallinity for rocks in powdered form was calculated based on the X-ray diffractogram of samples using the XRD-7000 XRD-7000 XRD-7000 X-ray diffractometer. Radiographs were recorded in the CCU “Arctic” NArFU.

## RESULTS AND DISCUSSION

Selected sand deposits are not significantly different in the size of the size ( $M_k$ ). Three of them belong to the middle, and the sand of the “Krasnoflotsky-West” deposit is small. True densities ( $\rho_{real}$ ) of the breeds under study also have close values and vary in the range from 2500 to 2710 kg/m<sup>3</sup> (Table 1).

In the grinding process, several fractions of highly dispersed rocks were obtained, which were characterized by the value of the specific surface (Table 2).

The analysis of the obtained fractions for the rocks presented in Table 2, with 30 minute duration of the grinder, showed that the sand of the “Nekhtskoye” deposit has the highest value of the specific surface. At the same time, the sands “Krasnoflotsky-West” and “Khromtsov-

**Table 1**  
**Main characteristics of rocks**

Sand deposit	Designation	$M_k$	Fineness	$\rho_{real}$ , kg/m <sup>3</sup>
Krasnoflotsky-West	S1	1.70	small	2710
Kenitsa	S2	2.21	average	2640
Hromtsovskoye	S3	2.18	average	2500
Nekhtskoye	S4	2.43	average	2600

**Table 2**  
**Specific surface area of highly dispersed rock samples**

Sand deposit	The value of the specific surface ( $S_{sp}$ , m <sup>2</sup> /kg) during the duration of the grinder (min)			
	5 min	10 min	20 min	30 min
S1	8241±17	10 140±23	15 302±15	22 231±20
S2	7819±13	9920±19	18 670±12	28 603±18
S3	9101±11	10 893±13	16 384±11	23 187±14
S4	7783±18	8870±17	20 854±15	31 543±16

koye”, despite the difference in the values of true densities, have close values of the specific surface. This fact may indicate that the composition of these polymineral sands (S1 and S3) contains minerals that have similar characteristics by cooler.

The study of the phase-structural heterogeneity of the samples after different in time (5 and 30 minutes) of the mechanical actuation period (Fig. 1), showed a significant increase in all the studied samples of the amorphous phase.

The change in the degree of crystallinity and the percentage of the amorphous phase in highly dispersed samples after mechanical dispersion is presented in Table 3.

The given data (Table 3) show that the degree of crystallinity for the studied polymineral sands decreases during the grinding of 30 minutes from 14 to 25%. The effect of reducing the degree of crystallinity (increasing

the degree of phase-structural heterogeneity) of samples is associated with their structural and textural features.

These facts, based on the ideology of calculating the activity of the surface ( $k_s$ ), are reflected in the magnitude of this indicator, the physical nature of which is determined by the structural and textural features of the analyzed objects.

Table 4 shows the values of the indicators (calculated and experimentally defined) used by us to calculate  $k_s$  (specific mass energy of atomization,  $E_m$ ; cosine values of the wetting angle with reference liquids,  $\cos\theta$ ; surface tension of prototypes, pressing,  $\sigma_k = \sigma_d + \sigma_p$ ; free surface energy,  $E_s$  and specific surface,  $S_{sp}$ ). It should be noted that according to the OWRK method, the determination of the surface tension of the pressed powders is associated with the calculation of the dispersion ( $\sigma_d$ ) and the polarization ( $\sigma_p$ ) components.

**Table 3**  
**Crystal degree and amorphization of rock surface**

Sand deposit	The degree of crystallinity / content of the amorphous phase (C, %), depending on the time of grinding rocks			
	5 min	10 min	20 min	30 min
S1	96.2/3.8	94.7/5.3	90.5/9.5	86.2/13.8
S2	95.4/4.6	92.9/7.1	80.8/19.2	74.2/25.8
S3	93.2/6.8	91.8/8.2	87.7/12.3	83.2/16.8
S4	94.9/5.1	94.1/5.9	84.7/15.3	72.6/27.4

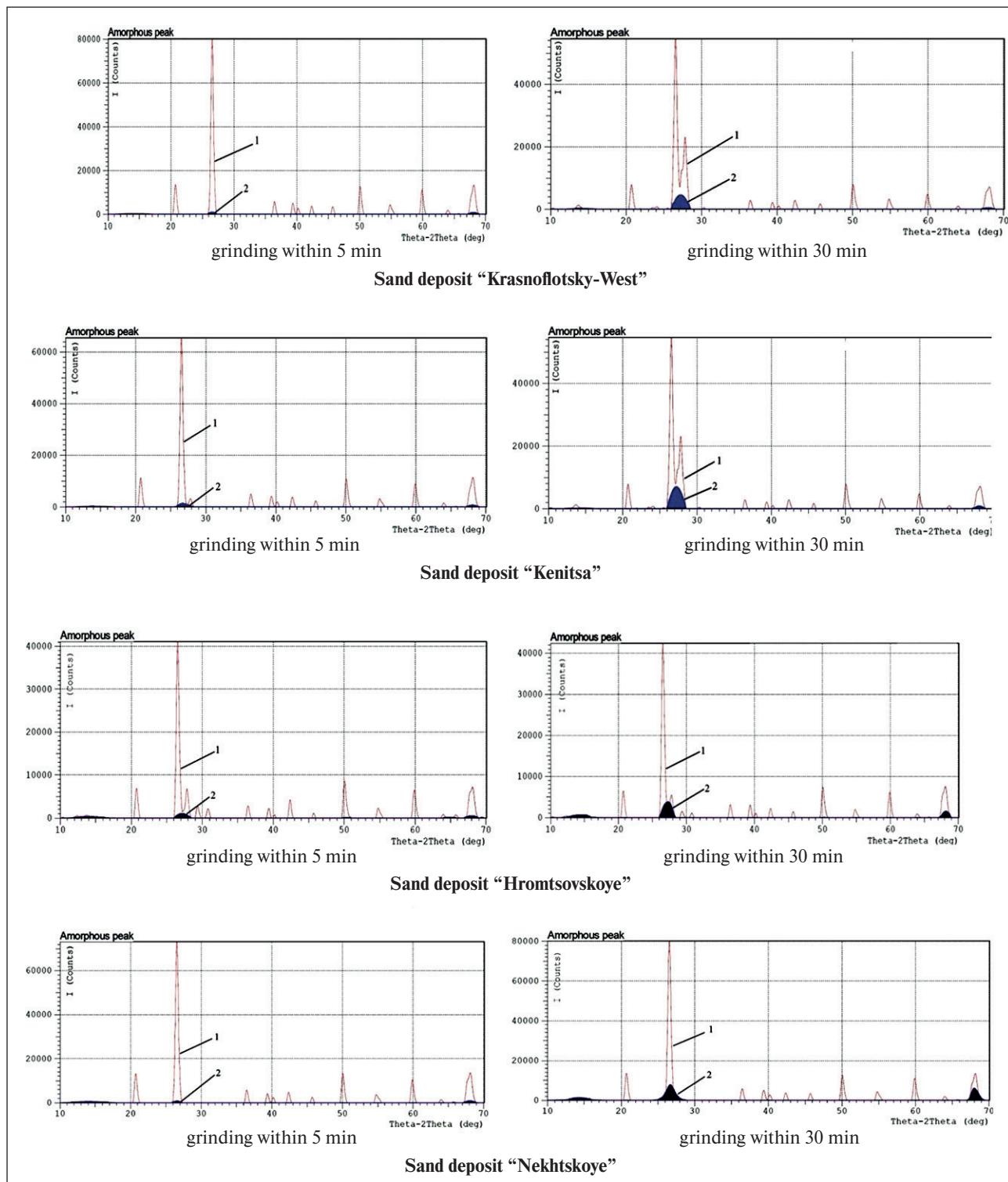


Fig. 1. Diffractograms of highly dispersed samples of rocks: 1 – crystal part; 2 – amorphous part

Figure 2 shows the dependence of the surface activity from the share of the amorphous component for highly dispersed sands with a grinding time of 30 minutes (this time was chosen due to the maximum values of “ $c$ ” – shares of the amorphous component), which is linear

in nature with the accuracy ratio of the approximation  $R^2 = 0.81$  and subordinate equation:

$$k_s = 21 \cdot 10^{-6} \cdot c + 0.58 \cdot 10^{-6}. \quad (1)$$

**Table 4**  
**Energy parameters of sediment rocks**

Defined parameter	Sand deposit							
	S1		S2		S3		S4	
Grinding time, min	5	30	5	30	5	30	5	30
Specific surface, $S_{sp}$ , $\text{cm}^2/\text{g}$	8241	22231	7819	28603	9101	23187	7783	31543
Surface tension $\sigma_s$ , $\text{mN/m}$	66.97	67.58	67.06	67.81	67.51	68.11	65.22	67.51
Specific mass, $E_m \cdot 10^3$ , $\text{KJ/kg}$	30.44		30.41		29.12		30.67	
Free surface energy $E_s$ , $\text{J/kg}$	67.94	104.05	66.46	157.67	61.89	126.96	50.59	214.49
Surface activity $k_s \cdot 10^6$	2.23	3.42	2.18	5.18	2.13	4.36	1.65	6.99

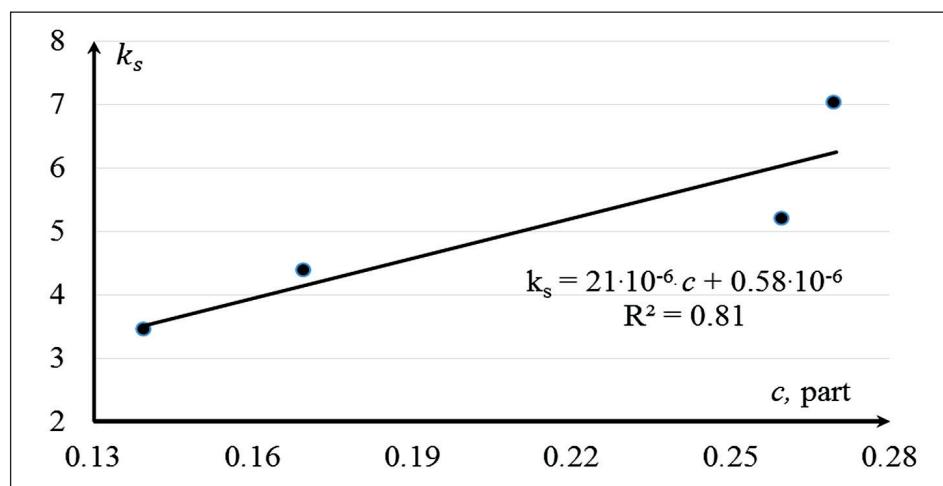


Fig. 2. Functional dependence of the species  $k_s = f(c)$  for a grinding time of 30 minutes

## CONCLUSION

The obtained experimental results showed that dry mechanical dispersion of the polymineral sands of various fields on the planetary ball mill contributes to the activation of raw materials associated with the destruction of its crystal lattice and the formation of the active amorphous phase. At the same time, the key technological factor of activation is the grinding time, which contributes to a decrease in the degree of crystallinity of the sands at about 0.46% (for S1) to 0.96% (for S4) per minute. This fact is associated with the temperature of the

crystal structure of minerals that make up the polymineral prototypes, and the texture of raw materials. These characteristics are reflected in the value of the activity of the surface of fine-dispersed systems of the rocky rocks. The confirmation of this conclusion may be the identified direct proportionality between the parameters of the phase-structural heterogeneity (the proportion of the amorphous phase) and the activity of the surface of the fine-dispersed samples. The functional relationship of these parameters is expressed by a linear equation of the species:  $k_s = 21 \cdot 10^{-6} \cdot c + 0.58 \cdot 10^{-6}$ .

## REFERENCES

1. Tolstoy A.D. Fine-grained high-strength concrete. *Construction Materials and Products*. 2020; 3(1): 39–43.
2. Kozhuhova N.I., Strokova V.V., Chizhov R.V., Kozhuhova M.I. Chemical reactivity assessment method of nanostructured low calcium aluminosilicates. *Construction Materials and Products*. 2019; 2(3): 5–11.

3. Boucedra A., Bederina M., Ghernouti Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates. *Construction and Building Materials*. 2020; (256): 119447.
4. Gavshina O.V., Yashkina S.Yu., Yashkin A.N., Doroganov V.A., Moreva I.Yu. Study of the effect of particulate additives on the setting time and microstructure of high-alumina cement. *Construction Materials and Products*. 2018; 1(4): 30–37.
5. Danilov V. E., Ayzenshtadt A.M., Frolova M. A., Tutygin A.S. Dispersion Interactions as Criterion of Optimization of Cementless Composite Binders. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2018; 9(4): 767–771. (In Russian).
6. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Shorstova E.S. Fiber concrete for 3-D additive technologies. *Construction Materials and Products*. 2019; 2(4): 14–20.
7. Fedyuk R.S., Mochalov A.V. Issues related to management of the structure formation of a composite binder. *ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*. 2018; 2(51): 2–10.
8. Chernyisheva N.V., Shatalova S.V., Evsyukova A.S., Fisher H.B. Features of the selection of the rational structure of the compositional gips binder. *Construction Materials and Products*. 2018; 1(2): 45–52.
9. Shoshin E.A., Strokoval V.V., Kozlov N.A., Gribkov D.S. Improving the efficiency of cement concrete due to the use of a composite binder with silicate calcium dispersion. *ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*. 2019; 4(57): 22–29.
10. Veshnyakova L.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A. Evaluation of surface activity of highly dispersed raw materials for composite building materials. *Physics and chemistry processing materials*. 2015; (2): 68–72.
11. Veshnyakova L.A., Drozdyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Tutyigin A.S. Surface activity of silver rocks. *Materials Science*. 2016; (5): 45–48.
12. Grishina A.N., Korolyov E.V. The effectiveness of modification of cement composite-sized hydraulicates of barium. *Construction Materials*. 2015; (2): 72–76.
13. Glezer A.M. Amorphous and nanocrystalline structures similarities, differences, mutual transitions grew. *Society of Chemistry named after D.I. Mendeleev*. 2002; (5): 57–63.
14. Drozdyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Rama Shanker Verma. Mineral composite using saponite-containing mining waste. *Construction Materials and Products*. 2020; 3(3): 21–27.
15. Sokolova Y.V., Ayzenshtadt A.M., Strokoval V.V. Evaluation of dispersion interaction in glyoxal-silica organomineral system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 929(1): 012110.
16. Binnewies M., Milke E. *Thermochemical Data of Elements and Compounds*. Hannover: Wiley-VCH; 2002.
17. Abramovskaya I.R., Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Veshnyakova L.A., Frolova M.A., Kazlitin S.A. Calculation of energy intensity of rocks – as raw materials for the production of building materials. *Industrial and Civil Engineering*. 2012; (10): 23–25.
18. Danilov V.E., Korolev E.V., Ayzenshtadt A.M., Strokoval V.V. Features of the calculation of the free energy of the surface based on the model interfacial interaction of the Ounsa–Vendta–Rabelya–Kelble. *Construction Materials*. 2019; (11): 66–72.
19. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Akulova M.V., Frolova M.A., Shamanina A.V. Evaluation of the possibility of using powders of polymineral silica-containing sands as a hydrophobic coating. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 222–228. [DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Marina V. Morozova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate professor, Researcher, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic University», Ivanovo, Russia; Associate professor of Composite Materials and Construction Ecology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, m.morozova@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8497-9786>

**Arkady M. Ayzenshtadt** – Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department of Composite Materials and Construction Ecology, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Honorary Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, a.isenshtadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2904-2549>

**Marina V. Akulova** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Construction Materials Science and Technology, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic University», Ivanovo, Russia, m\_akulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5911-7164>

**Maria A. Frolova** – Cand. Sci. (Chem.), Associate professor, Associate professor of Composite Materials and Construction Ecology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, m.aizenstadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-5066>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Marina V. Morozova** – preparation of prototypes, dispersion, determination of specific surface area, calculation of surface activity, collection, analysis and processing of obtained results, writing of an article.

**Arkady M. Ayzenshtadt** – writing an article, scientific editing of text, identifying dependencies.

**Marina V. Akulova** – preparation of prototypes, writing an article, scientific editing of the text.

**Maria A. Frolova** – writing an article, scientific editing of text.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 24.02.2022; approved after reviewing 20.03.2022; accepted for publication 23.03.2022.

## Фазово-структурная гетерогенность и активность поверхности порошков полиминеральных песков

Марина Владимировна Морозова<sup>1,2\*</sup> , Аркадий Михайлович Айзенштадт<sup>2</sup> ,  
Марина Владимировна Акулова<sup>1</sup> , Мария Аркадьевна Фролова<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия

<sup>2</sup> Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: m.morozova@narfu.ru

**АННОТАЦИЯ:** Введение. При создании различных по составу композиций важную роль играет величина удельной поверхности ( $S_{уд}$ ), степень кристалличности и активность поверхности ( $k_s$ ). Возрастание величины  $S_{уд}$  тесно связано с изменением степени кристалличности порошков горных пород, величина которой характеризует свойства наполнителей. Реакционная способность высокодисперсного материала может определяться величиной  $k_s$ , позволяющей количественно охарактеризовать переход потенциальной энергии, накопленной горной породой в процессе генезиса, в свободную поверхностную энергию за счет активации поверхности сырья. Поэтому определение функциональной взаимосвязи между параметрами, характеризующими реакционную способность порошков горных пород, является актуальной задачей. **Методы и материалы.** В качестве сырьевых материалов выбраны четыре месторождения полиминеральных песков. Для получения высокодисперсных порошков пробы измельчали методом сухого диспергирования. Удельную поверхность высокодисперсных систем горных пород определяли методом сорбции газа, по теории БЭТ. Степень кристалличности рассчитывали, исходя из рентгеновской дифрактограммы образцов. **Результаты и обсуждение.** Определенные величины удельных поверхностей для высокодисперсных горных пород показали, что месторождения «Кеницы» и «Нектское» обладают наибольшими значениями  $S_{уд}$ . Исследование фазово-структурной гетерогенности образцов показало значительное увеличение в составе всех исследуемых образцов содержания аморфной фазы. При этом степень кристалличности для исследуемых песков уменьшается от 14 до 25%. Таким образом, пески месторождений «Кеницы» и «Нектское» обладают повышенным энергетическим потенциалом, так как способны образовывать большее количество аморфной фазовой составляющей. Построена функциональная взаимосвязь между активностью поверхности и долей аморфной составляющей ( $c$ ) для высокодисперсных песков, была охарактеризована математическим выражением вида  $k_s = 21 \cdot 10^{-6} \cdot c + 0,58 \cdot 10^{-6}$ . Выявленная зависимость демонстрирует взаимосвязь между параметрами фазово-структурной гетерогенности и активностью поверхности тонкодисперсных образцов. **Заключение.** Полученные экспериментальные результаты показали, что механическое диспергирование, за счет разрушения кристаллической решетки материала и образования активной аморфной фазы, способствует активации сырья. Технологическим фактором является время помола, способствующее уменьшению степени кристалличности песков примерно со скоростью от 0,46 до 0,96 % в минуту. Данный факт связан с размолоспособностью кристаллической структуры минералов, составляющих полиминеральные опытные образцы, и текстурой сырья. Эти характеристики отражаются в величине активности поверхности тонкодисперсных систем изучаемых горных пород.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** полиминеральные пески, удельная поверхность, степень кристалличности, аморфная составляющая, активность поверхности.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-60062.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Акулова М.В., Фролова М.А. Фазово-структурная гетерогенность и активность поверхности порошков полиминеральных песков // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 89–95. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-89-95>.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительный интерес для индустрии строительных материалов представляют

тонкомолотые минеральные порошки [1–2], введение которых в технологию производства позволяет повысить качество строительных материалов. Доведение порошков до микро- и наноразмерного

уровня частиц приводит и к изменению ряда физико-химических свойств самих систем [3–4]. Данный подход позволяет в значительной степени повысить качество композиционных материалов: прочность, износостойкость, термическую и химическую стойкость, вязкость разрушения, т.е. увеличить эксплуатационный период и жизненный цикл изделия или конструкции в целом [5–9].

Наиболее распространенным и востребованным сырьем для производства строительных материалов являются горные породы различного генезиса. При механическом диспергировании этого сырья, согласно классическим принципам термодинамики, затрачивается определенная работа, в результате которой из общего энергетического потенциала породы высвобождается энергия, получившая название свободной поверхностной [10–11].

Кроме того, рядом исследователей отмечено, что для создания различных по составу композиций важную роль играет величина удельной поверхности ( $S_{y\vartheta}$ ), степень кристалличности и активность поверхности ( $k_s$ ).

Получение микро- и наноразмерных частиц в анализируемых системах обеспечивает переход части потенциальной энергии всего объекта, обусловленной его структурой, составом и текстурой в избыточную поверхностную энергию. Главенствующая роль в этом плане отводится удельной поверхности, увеличение которой способствует усилению взаимосвязей сырья с матрицей композита (достигается более однородное распределение частиц в материале), что приводит к оптимизации его структуры и свойств [2, 6, 8, 12].

Возрастание величины  $S_{y\vartheta}$  тесно связано со степенью кристалличности порошков горных пород. Так, известно, что степень кристалличности – это отношение массы кристаллической части порошка исследуемой пробы к ее общей массе, выраженное в процентах или долях. Во время диспергирования горных пород до ультра- и наноразмерного состояния происходит разрушение кристаллической решетки материала, вследствие чего происходит высвобождение внутренней энергии и преобразование части кристаллической структуры в аморфную fazу, являющейся важной составляющей для повышения реакционной способности композитов [13].

Таким образом, степень кристалличности является показателем высокодисперсного материала, величина которого характеризует свойства наполнителей, и как следствие, основные финишные свойства бетонного композита (плотность, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость).

В свою очередь, как показали наши исследования, реакционная способность высокодисперсного материала может определяться активностью поверх-

ности ( $k_s$ ). Именно этот параметр позволяет количественно охарактеризовать переход потенциальной энергии, накопленной горной породой в процессе генезиса, в свободную поверхностную энергию за счет активации поверхности сырья [2, 14, 15].

Определение величины  $k_s$  базируется на макроэнергетических показателях горной породы. Первым является энергия атомизации ( $E_a$ , кДж/моль), определяющаяся как сумма стандартной энталпии образования кристаллов и теплот образования составляющих атомов химических элементов (значения приводятся в справочной литературе [16]). Производными этой величины являются удельная массовая энергия атомизации ( $E_m$ , кДж/г) и удельная объемная энергия атомизации ( $E_v$ , кДж/см<sup>3</sup>), позволяющие корректно сопоставить горные породы по энергетическим параметрам. При этом параметр  $E_v$  в силу специфики своего расчета позволяет охарактеризовать горные породы по энергоплотности [10–17].

Расчет величины активности поверхности проводили, используя положения работ [9, 10, 14, 18], согласно которым этот параметр равен отношению  $k_s = E_s/E_m$ . Свободную поверхностную энергию ( $E_s$ , Дж/кг) вычисляли произведением значений поверхностного натяжения ( $\sigma_k$ ) высокодисперсной системы и ее удельной поверхности. Для экспериментального определения  $\sigma_k$  использовали метод ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кельбле) [4, 12, 15, 18, 19].

Целью исследований, представленных в данной работе, является определение возможной функциональной взаимосвязи между параметрами, характеризующими реакционную способность порошков (степень кристалличности и активность поверхности) горных пород на примере тонкодисперсных систем полиминеральных песков наиболее широко используемых месторождений Архангельской и Ивановской областей.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве сырьевых материалов были выбраны полиминеральные пески четырех месторождений: речной песок месторождения «Краснофлотский-Запад» и карьерный песок месторождения «Кеницы» (Архангельская область); карьерные пески Ивановской области месторождений «Хромцовское» (с. Хромцово) и «Нектское» (с. Тетеринское, Нерехтский район).

Перед началом экспериментов песок промывали и высушивали до постоянной массы при температуре 105°C. Определение основных характеристик песков, таких как: модуль крупности и истинная плотность – осуществлялось по ГОСТ 8735-88.

Для расчета величины активности поверхности пробы песка измельчали до высокодисперсного состояния методом сухого диспергирования сырья в планетарной шаровой мельнице «Retsch PM100», принцип измельчения которой основан на трении частиц и ударе о них стальных размолочных тел. Опытным путем были подобраны оптимальные режимные параметры диспергирования, позволяющие получать необходимый размер частиц.

Удельную поверхность высокодисперсных систем горных пород определяли методом сорбции газа, по теории БЭТ, на анализаторе «Autosorb-iQ-MP».

Степень кристалличности для горных пород в порошкообразном виде рассчитывали исходя из рентгеновской дифрактограммы образцов с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000. Рентгенограммы записывались в ЦКП «Арктика» САФУ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выбранные месторождения песков не значительно отличаются по модулю крупности ( $M_k$ ). Три из них относятся к средним, а песок месторождения «Краснофлотский-Запад» является мелким. Истинные плотности ( $\rho_{ucm}$ ) исследуемых пород также имеют близкие значения и изменяются в диапазоне от 2500 до 2710 кг/м<sup>3</sup> (табл. 1).

В процессе измельчения были получены несколько фракций высокодисперсных горных пород, которые были охарактеризованы по величине удельной поверхности (табл. 2).

**Таблица 1**  
Основные характеристики горных пород

Месторождение	Обозначение	$M_k$	Крупность	$\rho_{ucm}$ , кг/м <sup>3</sup>
Краснофлотский-Запад	П1	1,70	мелкий	2710
Кеницы	П2	2,21	средний	2640
Хромцовское	П3	2,18	средний	2500
Нектское	П4	2,43	средний	2600

**Таблица 2**  
Характеристика высокодисперсных фракций горных пород

Месторождение песка	Величина удельной поверхности ( $S_{y0}$ , м <sup>2</sup> /кг) при продолжительности помола (мин)			
	5 мин	10 мин	20 мин	30 мин
П1	8241±17	10 140±23	15 302±15	22 231±20
П2	7819±13	9920±19	18 670±12	28 603±18
П3	9101±11	10 893±13	16 384±11	23 187±14
П4	7783±18	8870±17	20 854±15	31 543±16

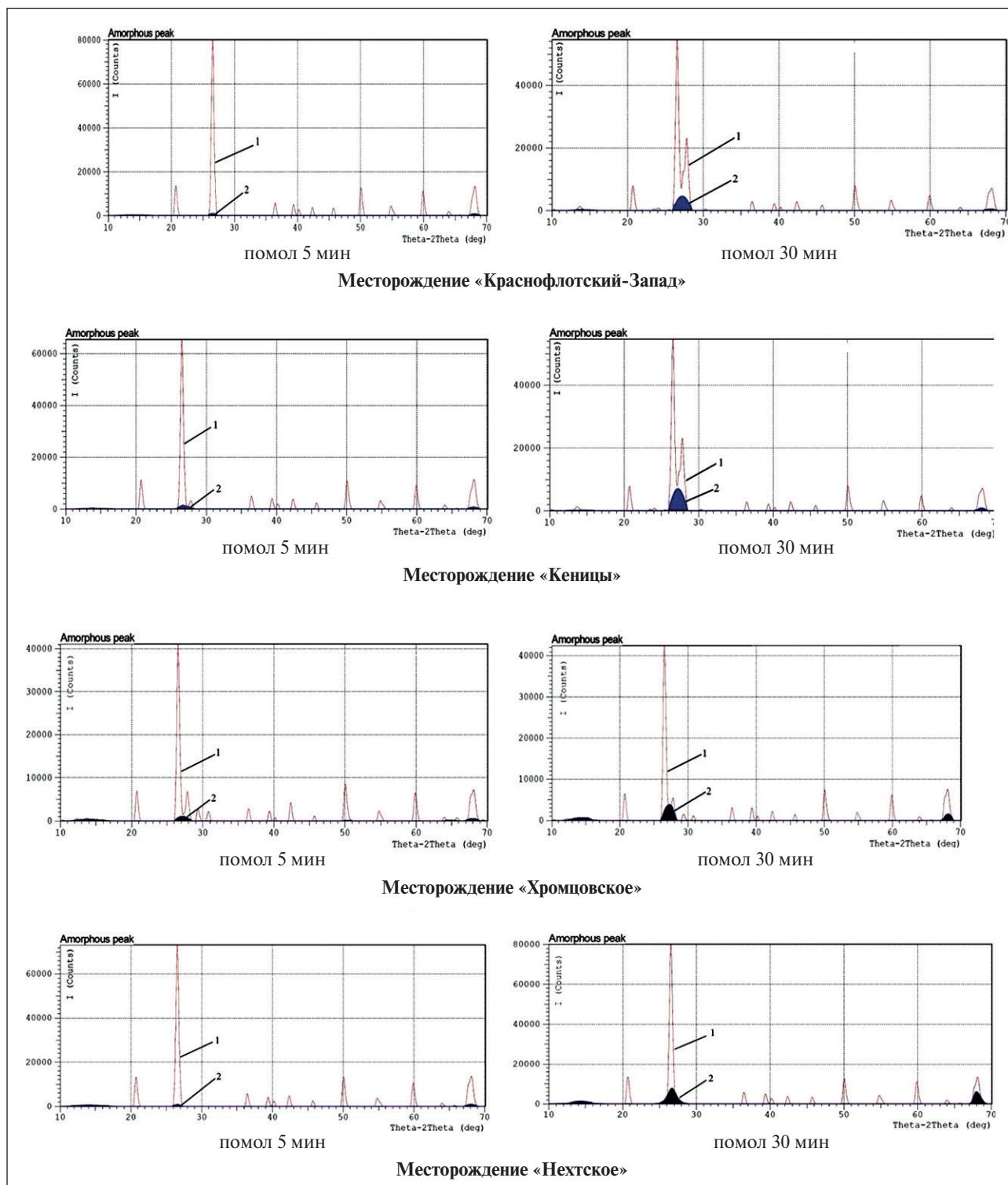


Рис. 1. Дифрактограммы высокодисперсных образцов горных пород:  
1 – кристаллическая часть; 2 – аморфная часть

В табл. 4 представлены значения показателей (расчетных и экспериментально определенных), используемых нами для вычисления  $k_s$  (удельная массовая энергия атомизации,  $E_m$ ; значения коси-

нуса угла смачивания эталонными жидкостями,  $\cos\theta$ ; поверхностное натяжение опытных образцов-запрессовок,  $\sigma_k = \sigma_d + \sigma_p$ ; свободная поверхностная энергия,  $E_s$  и удельная поверхность,  $S_{y\delta}$ ). Следует учесть, что

Таблица 3

Степень кристалличности и аморфизация поверхности горных пород

Месторождение песка	Степень кристалличности/содержания аморфной фазы (C, %) в зависимости от времени измельчения горных пород			
	5 мин	10 мин	20 мин	30 мин
П1	96,2/3,8	94,7/5,3	90,5/9,5	86,2/13,8
П2	95,4/4,6	92,9/7,1	80,8/19,2	74,2/25,8
П3	93,2/6,8	91,8/8,2	87,7/12,3	83,2/16,8
П4	94,9/5,1	94,1/5,9	84,7/15,3	72,6/27,4

Таблица 4

Энергетические параметры осадочных горных пород

Определяемый параметр	Песок месторождения							
	П1		П2		П3		П4	
Время помола, мин	5	30	5	30	5	30	5	30
Удельная поверхность, $S_{\text{yo}}$ , см <sup>2</sup> /г	8241	22231	7819	28603	9101	23187	7783	31543
Поверхностное натяжение $\sigma_s$ , мН/м	66,97	67,58	67,06	67,81	67,51	68,11	65,22	67,51
Удельно массовая энергия, $E_m \cdot 10^3$ , кДж/кг	30,44		30,41		29,12		30,67	
Свободная поверхностная энергия $E_s$ , Дж/кг	67,94	104,05	66,46	157,67	61,89	126,96	50,59	214,49
Активность поверхности $k_s \cdot 10^6$	2,23	3,42	2,18	5,18	2,13	4,36	1,65	6,99

согласно методу ОВРК, определение поверхностного натяжения запрессованных порошков связано с расчетом дисперсионной ( $\sigma_d$ ) и поляризационной ( $\sigma_p$ ) составляющих.

На рис. 2 представлена зависимость активности поверхности от доли аморфной составляющей для высокодисперсных песков со временем помо-

ла 30 минут (данное время было выбрано в связи с максимально полученными значениями « $c$ » — доли аморфной составляющей), которая имеет линейный характер с коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,81$  и подчиняющаяся уравнению:

$$k_s = 21 \cdot 10^{-6} \cdot c + 0,58 \cdot 10^{-6}$$

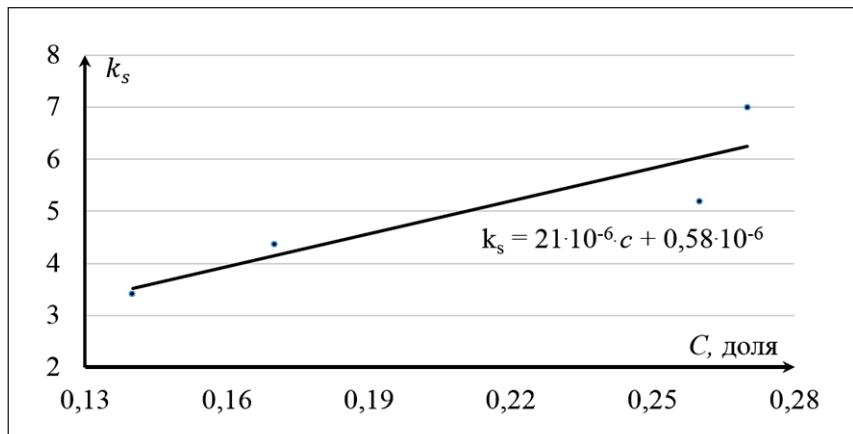


Рис. 2. Функциональная зависимость вида  $k_s = f(c)$  для времени помола 30 минут

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные результаты показали, что сухое механическое диспергирование полиминеральных песков разных месторождений на планетарной шаровой мельнице способствует активации сырья, связанной с разрушением его кристаллической решетки и образованием активной аморфной фазы. При этом ключевым технологическим фактором активации является время помола, способствующее уменьшению степени кристалличности песков примерно со скоростью от 0,46 (для П1) до 0,96% (для П4) в минуту. Данный факт связан

с размолоспособностью кристаллической структуры минералов, составляющих полиминеральные опытные образцы, и текстурой сырья. Эти характеристики отражаются в величине активности поверхности тонкодисперсных систем изучаемых горных пород. Подтверждением этого заключения может являться выявленная прямая пропорциональность между параметрами фазово-структурной гетерогенности (доля аморфной фазы) и активностью поверхности тонкодисперсных образцов. Функциональная взаимосвязь этих параметров выражается линейным уравнением вида:  $k_s = 21 \cdot 10^{-6} \cdot c + 0,58 \cdot 10^{-6}$ .

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Толстой А.Д. Мелкозернистый бетон повышенной прочности // Строительные материалы и изделия. 2020. 3 (1). 39–43.
2. Кожухова Н.И., Строкова В.В., Чижов Р.В., Кожухова М.И. Методика оценки реакционной активности алюмосиликатов кислого состава с нанокристаллической структурой // Строительные материалы и изделия. 2019. 2 (3). 5–11.
3. Boucedra A., Bederina M., Ghernouti Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates // Construction and Building Materials. 2020. 256: 119447.
4. Гавшина О.В., Яшкина С.Ю., Яшкин А.Н., Дороганов В.А., Морева И.Ю. Исследование влияния дисперсных добавок на сроки схватывания и микроструктуру высокоглиноземистого цемента // Строительные материалы и изделия. 2018. 1 (4). 30–37.
5. Danilov V. E., Ayzenshtadt A.M., Frolova M. A., Tutygin A.S. Dispersion Interactions as Criterion of Optimization of Cementless Composite Binders // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. 9 (4): 767–771.
6. Клюев С.В., Клюев А.В., Шорстова Е.С. Фибробетон для 3-Д аддитивных технологий // Строительные материалы и изделия. 2019. 2 (4). 14–20.
7. Федюк Р.С., Мочалов А.В. Вопросы управления структурообразованием композиционного вяжущего // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2018. 2 (51). 2–10.
8. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Х.Б. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы и изделия. 2018. 1 (2). 45–52.
9. Шошин Е.А., Строкова В.В., Козлов Н.А., Грибков Д.С. Повышение эффективности цементных бетонов за счет применения композиционного вяжущего с силикат-кальциевой дисперсией // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2019. 4 (57). 22–29.
10. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А. Оценка поверхностной активности высокодисперсного сырья для композиционных строительных материалов // Физика и химия обработки материалов. 2015. 2. 68–72.
11. Вешнякова Л.А., Дроздюк Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Тутыгин А.С. Поверхностная активность кремнесодержащих горных пород // Материаловедение. 2016. 5. 45–48.
12. Гришина А.Н., Королёв Е.В. Эффективность модифицирования цементных композитов наноразмерными гидросиликатами бария // Строительные материалы. 2015. 2. 72–76.
13. Глезер А.М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходство, различия, взаимные переходы Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 2002. 5. 57–63.
14. Дроздюк Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Рама Шанкер Верма. Минераловатный композит с использованием сапонит-содержащих отходов горнодобывающей промышленности // Строительные материалы и изделия. – 2020. 3 (3). 21–27.
15. Sokolova Y.V., Ayzenshtadt A.M., Stroksava V.V. Evaluation of dispersion interaction in glyoxal/silica organomineral system // Journal of Physics: Conference Series. 2017. 929(1): 012110.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

16. Binnewies M., Milke E. Thermochemical Data of Elements and Compounds // Hannover. Germany: Wiley-VCH. 2002: 928.
17. Абрамовская И.Р., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Казлитин С.А. Расчет энергоемкости горных пород – как сырья для производства строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. 10. 23–25.
18. Данилов В.Е., Королев Е.В., Айзенштадт А.М., Строкова В.В. Особенности расчета свободной энергии поверхности на основе модели межфазного взаимодействия Оунса–Вендта–Рабеля–Кельбле // Строительные материалы. 2019. 11. 66–72.
19. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Акулова М.В., Фролова М.А., Шаманина А.В. Оценка возможности использования порошков полиминеральных кремнеземсодержащих песков в качестве гидрофобизирующего покрытия // Нанотехнологии в строительстве. 2021. 13 (4). 222–228. DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Морозова Марина Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник Ивановского государственного политехнического университета, Иваново, Россия; доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, m.morozova@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8497-9786>

**Айзенштадт Аркадий Михайлович** – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии, Заслуженный работник высшей школы РФ, Почетный работник науки и высоких технологий РФ. Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, a.isenshtadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2904-2549>

**Акулова Марина Владимировна** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Строительного материаловедения и технологий, Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия, m\_akulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5911-7164>

**Фролова Мария Аркадьевна** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, m.aizenstadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-5066>

ВКЛАД АВТОРОВ

**Морозова М.В.** – подготовка образцов, диспергирование материала, определение удельной поверхности, расчет активности поверхности, сбор, анализ и обработка полученных результатов, написание статьи.

**Айзенштадт А.М.** – написание статьи, научное редактирование текста, выявление зависимостей.

**Акулова М.В.** – подготовка образцов, написание статьи, научное редактирование текста.

**Фролова М.А.** – написание статьи, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.02.2022; одобрена после рецензирования 20.03.2022; принятая к публикации 23.03.2022.

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-96-104>

CC BY 4.0

## Lime-diatomic mortar for finishing the walls of buildings

Valentina I. Loganina 

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

\* Corresponding author: e-mail: loganin@mail.ru

**ABSTRACT: Introduction.** At present, when performing finishing and restoration work, more and more preference is given to dry lime mixes (DBM). Wide opportunities for the production of dry lime-cement mixes are opened up by the use of diatomite, which is both a dry mix filler and an active mineral additive. Previous studies have confirmed the effectiveness of heat treatment of diatomite. After firing at 600–800°C, activity increases when interacting with calcium oxide hydrate. This is explained by the fact that at 600–800°C clay substances are dehydrated to metakaolinite, which is characterized by increased reactivity. The properties of dry mixtures and compositions based on them are affected by the particle size of the components of the dry mixture. In this regard, it is of great importance to study the influence of the dispersion of the components of the dry mixture on the formation of the structure of the finishing compositions. **Materials and methods.** To study the active centers of the diatomite surface, we used the indicator method for determining the distribution of adsorption centers. Determination of the compressive strength was carried out on a DOSM-3-1 dynamometer on samples 3x3x3 cm in size at the age of 28 days of air-dry hardening of the compositions. The determination of the granulometric composition of the components of the dry mixture was carried out by the method of sedimentation analysis. Adsorption was estimated from the optical density measured with a PEC photoelectrocalorimeter. To study adsorption at the "liquid-solid" interface, the initial components of the dry mixture, lime and diatomite, were used. **Results and discussions.** According to the data obtained, it was found that a particle size reduction of the dry mixture filler leads to an increase in the strength characteristics of lime-diatomite compositions. It was found that the introduction of C-3 additive into the water favors increasing dispersion of hydrated lime, improving plasticity finishing mixture and improving the physical and mechanical characteristics lime-diatomaceous compositions. It is proposed to introduce sulfate additive into the formulation of the aluminum-dry mixture. Increase in the compressive strength of the finishing composition with addition of aluminum sulfate 1.5–2 times was observed. **Conclusion.** It has been determined that the developed dry mixture is highly competitive, in terms of technological and operational properties, with prototype. Moreover, the production of the proposed DBM is more economical due to the use of local raw materials and domestic additives.

**KEYWORDS:** lime, diatomite, dry mixes, structure formation, additives.

**FOR CITATION:** Loganina V.I. Lime-diatomic mortar for finishing the walls of buildings. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 96–104. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-96-104>.

### INTRODUCTION

At present, when performing finishing and restoration work, more and more preference is given to dry lime mixes (DBM) [1–3]. The effectiveness of the use of dry mixes largely depends on the economical consumption of all resources in its production, in particular, due to the widespread use of local raw materials [4]. Wide opportunities for the production of dry lime-cement mixes are opened up by the use of diatomite, which is both a dry mix filler and an active mineral additive [5, 6]. This allows not only reducing the cost of DBM, but also improving the quality of compositions based on DBM.

In order to increase energy and resources utilization efficiency, and to find hydraulic mortars with improved

properties, in paper [7] diatomite was employed. The introduction of diatomite reduced the density of mortars. Diatomite replacement generally enhanced the compressive and flexural strength of hydraulic mortars. The enhancement mainly happened after 14 days of curing when pozzolanic effect was noticeable. The introduction of diatomite improved acid and sulfate resistance of mortars greatly.

The paper [8, 9] notes that the replacement of Portland cement with 30 wt.% DE significantly enhances the resistance to leaching, reduces the rapid chloride permeability, but increases the drying shrinkage at early ages. Overall, the DE-induced microstructural changes enhance the durability performance of DE-containing cementitious composites, which in turn demonstrates

the feasibility of using biosilica as a sustainable cement substitute.

The work [10–12] explored the influence of four naturally occurring mineral additives (zeolite, diatomite, trass and bentonite) on the hydration and properties of cement pastes and mortars was investigated. The materials change the phase composition, heat of hydration (determined by calorimetry) and mechanical properties of composites. After 28 days, the amount of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  was reduced by up to 23% and up to 35% more C–S–H was formed, as proved by TG measurements.

Previous studies have confirmed the effectiveness of heat treatment of diatomite [13, 14]. In diatomites, tripoli and flasks containing clay, after firing at 600–800°C, activity increases when interacting with lime. This is explained by the fact that at 600–800°C clay substances are dehydrated to metakaolinite, which is characterized by increased reactivity. The formation of hydrosilicates and hydroaluminates of calcium contributes to an increase in the strength of lime composites.

The properties of dry mixtures and compositions based on them are affected by the particle size of the components of the dry mixture. In this regard, of particular importance is the study of the influence of the dispersion of the components of the dry mixture on the formation of the structure of the finishing compositions.

Since lime-diatomite systems are polydisperse, in practice it is important to know the granulometric (or fractional) composition of the polydisperse system, i.e. the percentage of individual fractions that fall within a given interval of particle radii.

In the work [15–17] the studies aimed at assessing the influence of grinding on improving the pozzolanic activity of low-porous diatomite. It was determined that the decline in particle size caused an increase in the specific surface area (SSA) of diatomite without significant changing pore volume and size. The larger SSA raised the silica solubility and pozzolanic activity of diatomite, having changed its classification in terms of pozzolanic activity.

The purpose of the work is to study the relationship of structure formation of lime compositions with the nature of the energy heterogeneity of the components and to study the influence of prescription and technological factors on the processes of structure formation, physical, mechanical and technological properties of finishing coatings.

## METHODS AND MATERIALS

When developing the formulation of the dry mix, diatomite from the Akhmatovsky deposit of the Penza region and lime with an activity of 71–84% obtained at the Kamensky enterprise were used. (GOST 9179-77). The following additives were used: aluminum sulfate

(TU-2231-107-05742755-96), superplasticizer C-3 (TU 5870-002-58042865-03).

To study the active centers of the diatomite surface, we used the indicator method for determining the distribution of adsorption centers. Determination of the compressive strength was carried out on a DOSM-3-1 dynamometer on samples 3×3×3 cm in size at the age of 28 days of air-dry hardening of the compositions.

The determination of the granulometric composition of the components of the dry mixture was carried out by the method of sedimentation analysis. A torsion balance was used to assess the dispersion of particles, distilled water was used as a dispersion medium for diatomite, and acetone was used for hydrated lime to avoid further dissolution and good wetting of the lime. The change in the dispersity of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  obtained under various quenching conditions was studied. Lime  $\text{CaO}$  was slaked at water-lime ratio  $W/L = 0.3$  and  $W/L = 0.45$ . For comparison, during the hydration of lime  $\text{CaO}$ , the addition of C-3 was introduced into the mixing water in the amount of 0.4 and 0.7% by weight of  $\text{CaO}$ .

In order to study the processes of surface interaction between the components of the dry mixture and  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , we also studied the adsorption of the additive on the surface of the components of the dry mixture from an aqueous solution. Adsorption was estimated from the optical density measured with a PEC photoelectrocalorimeter. To study adsorption at the “liquid-solid” interface, the initial components of the dry mixture, lime and diatomite, were used.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

It has been established that the number of Brønsted acid sites on the surface of thermally treated diatomite exceeds the number of the same centers on the surface of unfired diatomite. Thus, the number of active centers at  $pK_a$  from 0 to 7 on the surface of fired diatomite was  $1.215 \cdot 10^{-5}$  mol/g, while on the surface of unfired diatomite it was  $0.975 \cdot 10^{-5}$  mol/g. In the region of the main Brønsted centers ( $pK_a$  from 7 to 13), a slight decrease in the number of active centers on the surface of the thermally treated diatomite was observed [18].

Analysis of the data given in Table 1 showed that the fineness of hydrated lime significantly depends on the slaking conditions. So, with an increase in the water-lime ratio in the process of slaking, lime  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  is formed with a small percentage of fine fractions. The content of particles smaller than 12 microns is 25% at  $W/L = 0.45$ , while at  $W/L = 0.3$  it is 39%. Obviously, at higher water-lime ratios, the released heat of the exothermic reactions of  $\text{CaO}$  hydration is spent on heating the water, which leads to a decrease in temperature compared to a lower water-lime ratio. In this case, the concentration of the solution increases, the process of

crystallization of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  particles and their coarsening proceeds under more favorable conditions. The introduction of superplasticizer C-3 into water contributes to an increase in the percentage of particles with a size of 0–4  $\mu\text{m}$ , although the content of particles with a size of less than 12  $\mu\text{m}$  is slightly lower and amounted to 37%. The maximum particle size is 17  $\mu\text{m}$ , while lime obtained by slaking under standard conditions ( $\text{W}/\text{L} = 0.3$ ) is 20  $\mu\text{m}$ . The slaking of lump lime with water with the addition of C-3 in an amount of 0.4% favored a slight increasing dispersion of hydrated lime, therefore the introduction of superplasticizer C-3 in an amount of 0.7% into the water is preferable.

The particle size of lime has a significant impact on the strength value of lime composites. Reducing the particle size contributed to an increase in the compressive strength of the lime-diatomaceous compositions. At the age of 28 days of air-dry hardening, the compressive strength of control samples (lime:diatomite 1:3 (lime slaked with 45% water by weight of  $\text{CaO}$ ) under compression) was  $R = 0.67 \text{ MPa}$ , and samples based on slaked lime 30% water –  $0.96 \text{ MPa}$ . The introduction of C-3 additive into the mixing water in an amount of 0.7% by weight of  $\text{CaO}$  contributes to a significant increase in the compressive strength of the compositions ( $R = 1.5 \text{ MPa}$ ). This is

also due to the different content of the finest fractions of calcium oxide hydrates in the mixture.

Analysis of the data given in Table 2 showed that the dispersion of diatomite in its natural state and subjected to heat treatment does not differ significantly [19–21]. Thus, the content of large particles with a radius of more than 20 microns is: for diatomite fraction 0.31–0.14 – 54.9%; for diatomite fired at a temperature of 700°C – 54.51 microns. It is natural that the largest percentage of such particles (61.13%) and the largest maximum particle radius  $r_{\max} = 44 \mu\text{m}$  were observed in diatomite fraction 0.63–0.31.

The most important indicator of the performance properties of finishing compositions is the compressive strength and the kinetics of its change over time. In this regard, the strength characteristics of lime-diatomite compositions, as well as the process of hardening of the finishing composition, were studied.

Analysis of the data given in Table 3 shows that heat treatment of diatomite at low temperatures (200°C and 300°C) does not significantly affect the compressive strength of the compositions. Increasing the firing temperature to 700°C leads to an increase in strength characteristics up to  $R = 4.38 \text{ MPa}$ . However, the greatest effect is achieved by heat treatment of diatomite at a tempera-

**Table 1**  
**Influence of slaking conditions on the fineness of lime particles**

Lime slaking conditions	Particle size, $\mu\text{m}$				$r_{\max}, \mu\text{m}$
	0–4	4–8	8–12	> 12	
	Fraction content, D				
$\text{W}/\text{L} = 0.3$	8	13	17	61	20
$\text{W}/\text{L} = 0.3$	7	7	11	75	21
$\text{W}/\text{L} = 0.4$	9	12	15	62	20
$\text{W}/\text{L} = 0.3$ with the addition of C-3 in an amount of 0.4% by weight of $\text{CaO}$	14	10	13	63	17
$\text{W}/\text{L} = 0.3$ with the addition of C-3 in an amount of 0.7% by weight of $\text{CaO}$	14	10	13	63	17

**Table 2**  
**Size distribution of diatomite particles**

Investigated material	Particle radius, $\mu\text{m}$						
	0–4	4–8	8–12	12–16	16–20	> 20	$r_{\max}, \mu\text{m}$
	The content of each fraction, %						
Diatomite (fraction 0.31–0.14)	5.6	20.65	6.25	5.75	6.85	54.9	39
Diatomite (fraction 0.63–0.31)	2.9	14	7.95	6.0	8.02	61.13	44
Diatomite (fraction 0.31–0.14), fired at a temperature of 700°C	3.5	17.83	7.2	8.65	8.31	54.51	40

Table 3

**The compressive strength of the composition depending on the heat treatment temperature of diatomite**

Processing temperature, °C	Compressive strength at the age of 28 days, MPa
20	0.9
200	0.94
300	0.98
700	4.38
900	5.1

Note. Ratiolime:diatomite = 1:3

ture of  $t = 900^{\circ}\text{C}$ . The value of the compressive strength was  $R = 5.1 \text{ MPa}$ . At a firing temperature of  $700^{\circ}\text{C}$  and  $900^{\circ}\text{C}$ , diatomite acquires a bright orange hue, which allows you to diversify the color range of the finishing layer without the introduction of pigments. However, from the point of view of energy consumption, it is more expedient to heat treat the dry mix filler at  $t = 700^{\circ}\text{C}$ .

Experimental data were obtained on the compressive strength of lime-diatomite compositions at various ratios of dry mix components and in the presence of additives (Table 4).

An analysis of the experimental data showed (Table 4) that samples with a high content of diatomite have a higher compressive strength. Thus, the compressive strength of samples with a lime:diatomite ratio of 1:1 was 0.44 MPa; with a ratio of 1:2 – 0.6 MPa, and with a lime-diatomite ratio of 1:3 – 0.9 MPa.

It was revealed that an particle size reduction of the dry mixture filler leads to an increase in the strength characteristics of lime-diatomite compositions. The compressive strength of samples containing diatomite of a coarser grinding (fraction 0.63–0.31) was 0.68 MPa, and when using diatomite fraction 0.3–0.14 – 0.9 MPa.

The obtained experimental data showed that the lime-diatomaceous compositions had a low strength. In this regard, in order to increase the strength characteristics and reduce shrinkage deformations, an additive of aluminum sulfate  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  was added to the mixture formulation. It was found that with an increase in the content of the aluminum sulfate additive, the compressive strength increases. So, the compressive strength was 1.1 MPa at the content of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  in the amount of 2% of the mass of dry components, in the amount of 5% – 1.9 MPa, in the amount of 10% – 2.1 MPa. It should be noted that an increase in the percentage of aluminum sulfate from 2% to 5% increased the compressive strength of the finishing composition by 2.2 times. A further increase in the amount of addition of aluminum sulfate  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  in the mixture to 10% led to a slight increase in compressive strength (by 1.1 times compared to the lime-diatomite composition with  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  content in the amount of 5%). Therefore, the most optimal is the introduction of aluminum sulfate additives in the amount of 5% by weight of dry components into the mixture formulation.

This is confirmed by the data on the adsorption of aluminum sulfate  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  from an aqueous solution on the diatomite surface. An analysis of the experimental data indicates that when the content of aluminum sulfate in an aqueous solution is up to 5%, the additive is almost

Table 4  
**Compressive strength of lime-diatomite compositions**

Calcium-diatomaceous ratio	Fraction of diatomite	Additive type	Supplement content	Compressive strength at the age of 28 days, MPa
1:1	0.63–0.31	–	–	0.36
1:2		–	–	0.47
1:3		–	–	0.68
1:1	0.31–0.14	–	–	0.44
1:2		–	–	0.6
1:1		–	–	0.9
1:3	0.31–0.14	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	2	1.1
			5	1.9
			10	2.1
1:3	0.31–0.14	C-3	0.5	0.9
			1.0	0.9
			1.5	0.9

**Table 5**  
**Aluminum sulfate adsorption**

Material under study	Amount of adsorbed aluminum sulfate, %
Hydrated lime obtained by slaking with water	43
Hydrated lime obtained in the presence of C-3 plasticizer in the amount of 0.7% by weight of lime	55
Diatomite	52
Diatomite after heat treatment at a temperature of 700°C	71

completely adsorbed on the surface of the filler (Table 5). With a further increase in the concentration of the additive in the aqueous solution, the amount of adsorbed  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  does not change significantly. The research results showed that with the content of aluminum sulfate in an aqueous solution in an amount of 3% by weight of the filler, 0.0287 g of additive per 1 g of diatomite was adsorbed on the surface of diatomite, at a content of 5% – 0.0492 g/g, at a content of 10% – 0.0506 g/g. Analysis of the experimental data showed that the optical density of the aqueous solution of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  over the lime surface was  $D = 0.145$ . The introduction of superplasticizer C-3 into mixing water during lime hydration  $\text{CaO}$  contributed to the formation of more dispersed lime  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , and as a result, an increase in the surface of the adsorbent. As a result, the optical density of an aqueous solution of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  over the surface of hydrated lime obtained by quenching in the presence of C-3 additive decreased and amounted to  $D = 0.115$ .

The study of aluminum sulfate adsorption on the surface of the dry mixture filler showed that thermally treated diatomite has a large adsorption effect. Thus, the optical density of an aqueous solution of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  above the surface of diatomite was  $D = 0.12$ , above the surface of fired diatomite  $D = 0.075$ . The dispersion of diatomite in its natural state and subjected to heat treatment does not differ significantly, therefore, an increase in the adsorption capacity of fired diatomite indicates an increase in the number of active centers on its surface.

The adsorption data and the results of thermodynamic calculations suggest that the most probable mechanism that activates the hardening process is the formation of ettringite formed as a result of the introduction of an expanding additive of aluminum sulfate  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Ettringite crystals, located in pores and leaks, reinforcing and compacting the structure of the material, contributed to an increase in the strength of the composite. Subsequently, under the influence of  $\text{CO}_2$  carbon dioxide in the air, ettringite was recrystallized into calcium hydrocarboaluminate  $3\text{CaO}\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaCO}_3\text{12H}_2\text{O}$ . This compound plays a significant role in the hardening of the composite, providing strong contacts at the binder-filler interface. This conclusion is confirmed by the data of qualitative X-ray

diffraction analysis. Studies of solid-phase reactions were carried out on lime-diatomite samples with the addition of aluminum sulfate in an amount of 5% by weight of the dry mixture at the age of 1 year of hardening in air-dry conditions. The presence of peaks characteristic of calcium hydrosilicate  $\text{C-S-H(I)}$ , calcium hydrocarboaluminate  $3\text{CaO}\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaCO}_3\text{12H}_2\text{O}$ , calcium carbonate  $\text{CaCO}_3$ , and kaolinite  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{2SiO}_2\text{2H}_2\text{O}$  was established on the X-ray diffraction pattern. The presence of  $\beta$ -quartz lines (impurities of diatomite) was also found

It is known that lime-diatomaceous compositions are characterized by extremely slow curing. When evaluating the kinetics of hardening of lime-diatomite compositions, it was found that the introduction of the  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  additive into the mixture formula contributed to increased compressive strength on the early stages of hardening (Fig. 1). So, at the age of 14 days, the compressive strength of the composition with the addition of aluminum sulfate was 0.38 MPa, while the compressive strength of the control composition (without additive) was 0.25 MPa. After 14 days, an intensive increase in compressive strength was observed. For the control sample amounted to 0.9 MPa and 1.9 MPa for samples with additive aluminum sulfate.

The use of burnt diatomaceous earth made it possible to significantly accelerate curing process in the initial period. At the age of 7 days, the compressive strength of the samples with diatomite, heat-treated at  $t = 700^\circ\text{C}$ , was 1.8 MPa, which significantly exceeds the compressive strength of samples based on unfired diatomite, not only at this stage of hardening ( $R = 0.22$  MPa), but also at the age of 90 days ( $R = 1.55$  MPa).

The mathematical model reflecting the kinetic processes of strength development is described by an exponential dependence:

$$R_t = R_o(1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

where  $R_t$  and  $R_o$  are strength values in different time periods  $t$ ;

$t$  is the hardening time;

$k$  is a coefficient depending on the composition of the binder.

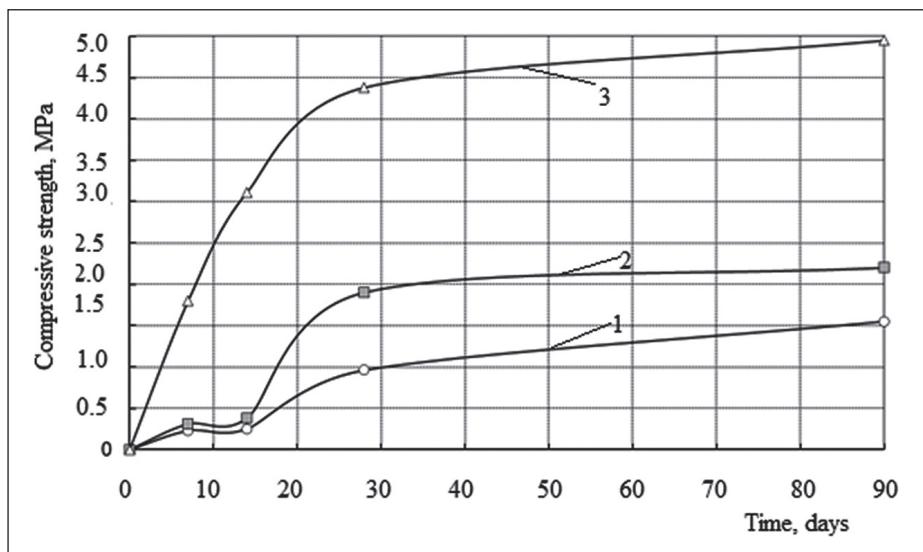


Fig. 1. Kinetics of strength development of lime-diatomaceous compositions: 1 – control composition (lime:diatomite 1:3); 2 – the same + 5%  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 3 – the same, diatomite fired at  $t = 700^\circ\text{C}$

After mathematical processing of the experimental data presented in Fig. 1, dependence (1) took the form:

$$R_t = 1.8992(1 - e^{-0.01965t}) \text{ – for the control composition (lime:diatomite 1:3);}$$

$$R_t = 2.316(1 - e^{-0.033t}) \text{ – for composition lime:diatomite 1:3 with addition of } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3;$$

$$R_t = 9.653(1 - e^{-0.0166t}) \text{ – for composition lime:diatomite 1:3, diatomite is fired at } t = 700^\circ\text{C}.$$

Additionally, to assess the structure formation of lime-diatomite compositions, the kinetics of CaO lime binding

was studied. The content of free CaO was determined by titration with a 0.05% aqueous solution of Trilon B. An aqueous extract was made by filtering a suspension obtained by mixing a carefully crushed sample of a lime-diatomite sample with distilled water. The samples were hardened under conditions that prevented the access of  $\text{CO}_2$  and the occurrence of carbonization.

The test results are shown in Fig. 2. Analysis of experimental data indicates that over time there is a decrease in the amount of free lime. So, at the age of 3 days, the

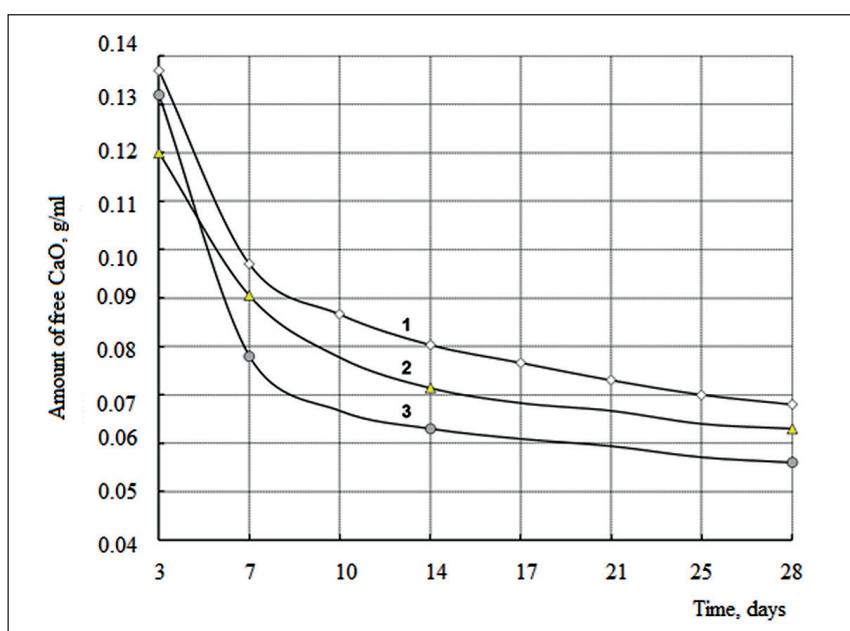


Fig. 2. Kinetics of change in CaO concentration lime-diatomaceous compositions: 1 – lime:diatomite 1:3; 2 – also + 5%  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 3 – also, diatomite fired at  $t = 700^\circ\text{C}$

Table 6

Technological and operational properties of the developed DBM and coatings based on it

Name of indicator	The value of the indicator of the finishing composition	
	developed	prototype
Adhesion strength, MPa	0.5...0.7	more 0.35
Cohesive strength, MPa	0.7...0.8	
Drying time up to degree 5, min	No more 60	No more 60
Recommended thickness of one layer, mm	before 1	3...30
Workability	good	good
Presence of cracks	No	No
Water holding capacity, %	95–96	Not less than 98
Pot life, hour, storage – in open containers; – in closed containers	8–10 40–48	1 —
Consumption when applying the finishing composition when applying one layer 10 mm thick, kg/m <sup>2</sup>	0.2...0.4	—

amount of free CaO in the composition of lime:diatomite 1:3 is 0.137 g/ml, and at the age of 28 days it is 0.068 g/ml. The introduction of an aluminum sulfate additive into the mixture formula increases the amount of chemically bound lime. The content of free lime at the age of 28 days is 0.063 g/ml.

The lowest content of free lime on the 28<sup>th</sup> day of hardening is observed in compositions with fired diatomite (0.056 g/ml). The obtained results correlate with the kinetics of curing. The data shown in Fig. 1 show that the hardening process can be described by an S-shaped curve, indicating the presence of neoplasms with a coagulation structure at the early stages of structure formation. The growth of the crystalline structure of the compositions was observed after 14 days of hardening. The presence of the  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  additive in the mixture formula increased the rate of strength gain of the lime-diatomaceous compositions. Thus, the rate of strength gain in the period of 7–14 days was 0.01 MPa/day, while for the control composition it was 0.003 MPa/day.

Thermal activation of diatomite and the introduction of an aluminum sulfate additive into the dry mixture led to an increase in the adhesive properties of lime-diatomite compositions and the production of a monolithic coating. It has been established that the tensile strength of the composition with the additive amounted to 0.76 MPa, and the adhesive strength was 0.39 MPa on a brick and 0.44 MPa on a cement-sand substrate.

The technological and operational properties of the developed dry mixture were compared with the properties of the cement-lime-sand dry mixture EK TTZO, produced

by EK-Chemical. Table 6 shows the compared technological and operational properties of the finishing composition based on the developed dry mix and the composition of the prototype. It has been established that the developed dry mixture is not inferior in terms of technological and operational properties to prototype. However, the production of the proposed DBM is more economical due to the use of local raw materials and domestic additives.

## CONCLUSIONS

It was found that the introduction of C-3 additive into the water contributes to increase the dispersion of hydrated lime, improve plasticity finishing mixture and improving the physical and mechanical characteristics lime-diatomaceous compositions. It is proposed to extinguishime in the presence of superplasticizer C-3 in the amount of 0.7% by weight lump lime.

The influence of the dispersion of the components and the formulation of drymixtures on the structure formation of finishing compositions. Qualitative X-ray diffraction analysis revealed the formation calcium hydrosilicate C–S–H(I), calcium hydrocarboaluminate, carbonatecalcium.

It is proposed to introduce the addition of sulfate into the formulation of the dry mixture aluminum. Increase in the compressive strength of the finishing composition with addition of aluminum sulfate 1.5–2 times was revealed. Optimal content of the aluminum sulfate additive in the composition of the dry mix 5% by weight of the dry components of the mixture was determined.

## REFERENCES

1. Xu S., Wang J., Ma Q., Zhao X., Zhang T. Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate. *Construction and Building Materials.* 2014; 73: 33–40. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062)
2. Gubareva E.N., Ogurtsova Y.N., Strokova V.V., Labuzova M.V. Comparative activity evaluation for silica raw materials and photocatalytic composite materials based on them. *Obogashchenie Rud.* 2019; 6: 25–30. Available from: [doi: 10.17580/or.2019.06.05](https://doi.org/10.17580/or.2019.06.05)
3. Loganina V.I. Compositions for interior walls of buildings on the basis of local materials. *Contemporary Engineering Sciences.* 2015; 8(5–8): 241–245. Available from: [doi: 10.12988/ces.2015.5124](https://doi.org/10.12988/ces.2015.5124)
4. Loganina, V.I., Makarova, L.V., Tarasov, R.V., Akzhigitova, E.R. 2014 Mineral additive based on the mixed-layer clays for dry construction mixes. *Contemporary Engineering Sciences.* 2014; 7(25–28): 1547–1554. Available from: [doi: 10.12988/ces.2014.49182](https://doi.org/10.12988/ces.2014.49182)
5. Li J., Jin Q., Zhang W., Li C., Monteiro P.J.M. Microstructure and durability performance of sustainable cementitious composites containing high-volume regenerative biosilica. *Resources, Conservation and Recycling.* 2022; 178: 106038. Available from: [doi: 10.1016/j.resconrec.2021.106038](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106038)
6. Xiao L.-G., Liu X.-X. Effect of Diatomite on Thermal Insulation Properties of Straw Fiber Cement-based Composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2019; 295(3): 032047. Available from: [doi: 10.1088/1755-1315/295/3/032047](https://doi.org/10.1088/1755-1315/295/3/032047)
7. Durán-Suárez, J.A., Sáez-Pérez M.P. Characterization of Classical Construction Materials used in Ethiopian Architecture for the Restoration of their Historic and Artistic Heritage. *International Journal of Architectural Heritage.* 2019; 13(6): 855–869. Available from: [doi: 10.1080/15583058.2018.1489014](https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1489014)
8. Zemanová L., Pokorný J., Pavlíková M., Pavlík Z. Properties of modified lime-based plasters for renewal of historical buildings exposed to accelerated carbonation test. *Materials Science Forum.* 2017; 909: 286–290. Available from: [doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286)
9. Kapeluszna E., Szudek W., Wolka P., Zieliński A. Implementation of alternative mineral additives in low-emission sustainable cement composites. *Materials.* 2021; 14(21): 6423. Available from: [doi: 10.3390/ma14216423](https://doi.org/10.3390/ma14216423)
10. Mota dos Santos A.A., Cordeiro G.C. Investigation of particle characteristics and enhancing the pozzolanic activity of diatomite by grinding. *Materials Chemistry and Physics.* 2021; 270: 124799. Available from: [doi: 10.1016/j.matchemphys.2021.124799](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124799)
11. Fořt J., Pavlíková M., Záleská M., Trník A., JANKOVSKÝ O. Preparation of pizzolana active two component composite for latent heat storage. *Ceramics - Silikaty.* 2016; 60(4): 291–298. Available from: [doi: 10.13168/cs.2016.0044](https://doi.org/10.13168/cs.2016.0044)
12. Loganina, V.I., Zhegera, C.V. 2015 The effectiveness of use of the composite binder as a dry mix. *Case Studies in Construction Materials.* 2015; 3: 137–140. Available from: [doi: 10.1016/j.cscm.2015.10.004](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.10.004)
13. Fořt J., Trník A., Pavlíková M., Pavlík Z., Černý R. Fabrication of Dodecanol/Diatomite Shape-Stabilized PCM and Its Utilization in Interior Plaster. *International Journal of Thermophysics.* 2018; 39(12): 137. Available from: [doi: 10.1007/s10765-018-2459-z](https://doi.org/10.1007/s10765-018-2459-z)
14. Liu R., Yang Y., Zhao X., Pang B. 2021 Quantitative phase analysis and microstructural characterization of Portland cement blends with diatomite. *Journal of Materials Science.* 2021; 56(2): 1242–1254. Available from: [doi: 10.1007/s10853-020-05429-1](https://doi.org/10.1007/s10853-020-05429-1)
15. Liu R., Yang Y., Zhao X., Pang B. Quantitative phase analysis and microstructural characterization of Portland cement blends with diatomite. *Journal of Materials Science.* 2021; 56(2): 1242–1254. Available from: [doi: 10.1007/s10853-020-05429-1](https://doi.org/10.1007/s10853-020-05429-1)
16. Zemanová L., Pokorný J., Pavlíková M., Pavlík Z. Properties of modified lime-based plasters for renewal of historical buildings exposed to accelerated carbonation test. *Materials Science Forum.* 2017; 909: 286–290. Available from: [doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286)
17. Al-Sabagh A.M., El-Awamri A.A., Abdou M.I., Abd El Fatah H.M., Rasmy W.E. Egyptian diatomite as high fluid loss squeeze slurry in sealing fractures and high permeable formation. *Egyptian Journal of Petroleum.* 2016; 25(3): 409–421. Available from: [doi: 10.1016/j.ejpe.2015.09.005](https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.09.005)
18. Loganina V.I., Laskov N.N., Boldyrev G.G. Influence of thermoactivation on properties of mineral additives in dry mixtures. *Journal of Physics: Conference Series.* 2021; 2124(1):012003. Available from: [doi: 10.1088/1742-6596/2124/1/012003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2124/1/012003)
19. Callebaut K., Elsen J., Van Balen K., Viaene W. Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement? *Cement and Concrete Research.* 2001; 31 (3): 397–403. Available from: [doi: 10.1016/S0008-8846\(00\)00499-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00499-3)

20. Grist E.R., Paine K.A., Heath A., Norman J., Pinder H. Compressive strength development of binary and ternary lime-pozzolan mortars. *Materials and Design*. 2013; 52: 514–523. Available from: [doi: 10.1016/j.matdes.2013.05.006](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.006)

21. Velosa A.L., Cachim P.B. Hydraulic-lime based concrete: Strength development using a pozzolanic addition and different curing conditions. *Construction and Building Materials*. 2009; 23(5): 2107–2111. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.013](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.013)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Valentina I.Loganina** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department “Quality Management and Construction Technology” of Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia, loganin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7532-0074>

**The author declares no conflicts of interests.**

The article was submitted 11.02.2022; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.

## Известково-диатомитовый раствор для отделки стен зданий

Валентина Ивановна Логанина 

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: loganin@mail.ru

**АННОТАЦИЯ:** Введение. В настоящее время при выполнении отделочных и реставрационных работ все большее предпочтение отдается сухим строительным смесям (ССС). Широкие возможности для производства сухих известково-цементных смесей открывают использование диатомита, который является одновременно и наполнителем сухих смесей, и активной минеральной добавкой. Предыдущие исследования подтвердили эффективность термической обработки диатомита. После обжига при 600–800°C активность возрастает при взаимодействии с гидратом оксида кальция. Это объясняется тем, что при 600–800°C глинистые вещества обезвоживаются до метакаолинита, который характеризуется повышенной реакционной способностью. На свойства сухих смесей и составов на их основе влияет размер частиц компонентов сухой смеси. В связи с этим особое значение имеет изучение влияния дисперсности компонентов сухой смеси на формирование структуры отделочных составов. **Материалы и методы.** Для изучения активных центров поверхности диатомита использовали индикаторный метод определения распределения адсорбционных центров. Определение прочности на сжатие проводили на динамометре ДОСМ-3-1 на образцах размером 3x3x3 см в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составов. Определение гранулометрического состава компонентов сухой смеси проводили методом седиментационного анализа. Адсорбцию оценивали по оптической плотности, измеренной на фотоэлектрокалориметре ПЭК. Для изучения адсорбции на границе раздела «жидкость-твердое» использовали исходные компоненты сухой смеси – известь и диатомит. **Результаты и обсуждения.** По полученным данным установлено, что уменьшение размера частиц наполнителя сухой смеси приводит к повышению прочностных характеристик известково-диатомитовых композиций. Установлено, что введение добавки С-3 в воду способствует увеличению дисперсности гашеной извести, повышению пластичности отделочной смеси и улучшению физико-механических характеристик известково-кизельгуровых композиций. Предлагается ввести в рецептуру сухой смеси алюминия добавку сульфата. Установлено увеличение прочности на сжатие отделочного состава с добавкой сульфата алюминия в 1,5–2 раза. **Выводы.** Установлено, что разработанная сухая смесь по технологическим и эксплуатационным свойствам не уступает прототипу. Однако производство предлагаемого ДБМ более экономично за счет использования местного сырья и отечественных добавок.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** известь, диатомит, сухие строительные смеси, структурообразование, добавки.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Логанина В.И. Известково-диатомитовый раствор для отделки стен зданий // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 96–104. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-96-104>.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при выполнении отделочных и реставрационных работ все большее предпочтение отдается известковым сухим смесям (ССС) [1–3]. Эффективность применения сухих смесей во многом зависит от экономичного потребления всех ресурсов при его производстве, в частности, за счет широкого использования местного сырья [4]. Широкие возможности для производства сухих известково-цементных смесей открывают исполь-

зование диатомита, являющегося одновременно наполнителем сухой смеси и активной минеральной добавкой [5, 6]. Это позволяет не только снизить стоимость ССС, но и повысить качество композиций на основе ССС.

С целью повышения эффективности использования энергии и ресурсов, а также поиска гидравлических растворов с улучшенными свойствами в работе [7] был использован диатомит. Введение диатомита снижает плотность растворов. Замена диатомита обычно повышает прочность гидравлических рас-

творов на сжатие и изгиб. Улучшение в основном происходило после 14 дней отверждения, когда был заметен пущолановый эффект. Введение диатомита значительно повысило кислото- и сульфатостойкость растворов.

В работе [8, 9] отмечается, что замена портландцемента на 30 мас.% диатомита значительно повышает устойчивость к выщелачиванию, снижает быструю хлоридопроницаемость, но увеличивает усадку при высыхании в ранние сроки. В целом микроструктурные изменения, вызванные диатомитом, повышают долговечность цементных композитов, содержащих диатомит, что, в свою очередь, демонстрирует возможность использования биокремнезема в качестве устойчивого заменителя цемента.

В работе [10–12] исследовано влияние четырех природных минеральных добавок (цеолит, диатомит, трасс и бентонит) на гидратацию и свойства цементных паст и растворов. Материалы изменяют фазовый состав, теплоту гидратации (определенную калориметрическим методом) и механические свойства композитов. Через 28 дней количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  уменьшилось до 23% и образовалось до 35% больше  $\text{C}-\text{S}-\text{H}$ , что подтверждается измерениями ТГ.

Проведенные ранее исследования подтвердили эффективность термообработки диатомита [13, 14]. У диатомитов, трепелов и опоков, содержащих глину, после обжига при 600–800°C повышается активность при взаимодействии с известкой. Это объясняется тем, что при 600–800°C глинистые вещества обезвоживаются до метакаолинита, который характеризуется повышенной реакционной способностью. Образование гидросиликатов и гидроалюминатов кальция способствует повышению прочности известковых композитов.

На свойства сухих смесей и композиций на их основе оказывает влияние размер частиц компонентов сухой смеси. В связи с этим особое значение приобретает изучение влияния дисперсности компонентов сухой смеси на формирование структуры отделочных составов.

Поскольку известково-диатомитовые системы являются полидисперсными, то на практике важно знать гранулометрический (или фракционный) состав полидисперской системы, т.е. процентное содержание отдельных фракций, приходящихся на заданный интервал радиусов частиц.

В работе [15–17] исследования направлены на оценку влияния измельчения, на повышение пущолановой активности низкопористого диатомита. Определено, что уменьшение размера частиц вызвало увеличение удельной площади поверхности диатомита без существенного изменения объема и размера пор. Более высокая удельная поверхность повысила растворимость кремнезема и пущолано-

вую активность диатомита, изменив его классификацию с точки зрения пущолановой активности.

Цель работы – изучение связи структурообразования известковых составов с характером энергетической неоднородности компонентов и изучение влияния рецептурных и технологических факторов на процессы структурообразования, физико-механические и технологические свойства известковых составов и отделочных покрытий.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

При разработке рецептуры сухой смеси использовали диатомит Ахматовского месторождения Пензенской области и известок активностью 71–84%, полученную на Каменском предприятии (ГОСТ 9179-77). В качестве добавок использовали: сульфат алюминия (ТУ-2231-107-05742755-96), суперпластификатор С-3 (ТУ 5870-002-58042865-0 3).

Для исследования активных центров поверхности диатомита использовали индикаторный метод определения распределения центров адсорбции (РЦА). Определение предела прочности при сжатии проводили на динамометре ДОСМ-3-1 на образцах размером 3×3×3 см в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составов.

Определение гранулометрического состава компонентов сухой смеси проводилось методом седиментационного анализа. Для оценки дисперсности частиц использовали торсионные весы, в качестве дисперсной среды для диатомита использовали дистиллированную воду, для гидратной известки применяли ацетон во избежание дальнейшего растворения и хорошего смачивания известки. Изучалось изменение дисперсности  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , полученной при различных условиях гашения. Известь  $\text{CaO}$  гасилась при водоизвестковом отношении  $\text{B}/\text{I} = 0,3$  и  $\text{B}/\text{I} = 0,45$ . Для сравнения при гидратации известки  $\text{CaO}$  в воду затворения вводилась добавка С-3 в количестве 0,4 и 0,7% от массы  $\text{CaO}$ . С целью изучения процессов поверхностного взаимодействия между компонентами сухой смеси и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  исследовалась также адсорбция добавки на поверхности компонентов сухой смеси из водного раствора, оцененная по показателям оптической плотности, измеренной с помощью ФЭК. Для изучения адсорбции на границе «жидкость – твердое тело» были использованы исходные компоненты сухой смеси – известок и диатомит.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Установлено, что число бренстедовских кислотных центров на поверхности термически обработанного диатомита превышает число таких же

центров на поверхности необожженного диатомита. Так, количество активных центров при рKa от 0 до 7 на поверхности обожженного диатомита составило  $1,215 \cdot 10^{-5}$  моль/г, в то время как на поверхности необожженного диатомита –  $0,975 \cdot 10^{-5}$  моль/г. В области основных бренстедовских центров (рKa от 7 до 13) наблюдалось некоторое снижение числа активных центров на поверхности термически обработанного диатомита [18].

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал, что дисперсность гидратной извести существенно зависит от условий гашения. Так, с увеличением водоизвесткового отношения в процессе гашения образуется известь Ca(OH)<sub>2</sub> с небольшим процентным содержанием мелких фракций. Содержание частиц размером менее 12 мкм составляет 25% при В/И = 0,45, в то время как при В/И = 0,3 – 39%. Очевидно, при более высоких водоизвестковых отношениях выделяющаяся теплота экзотермических реакций гидратации CaO расходуется на нагрев воды, что приводит к снижению температуры по сравнению с более низким водоизвестковым отношением. Концентрация раствора при этом повышается, процесс кристаллизации частиц Ca(OH)<sub>2</sub> и их укрупнения протекает в более благоприятных условиях. Введение суперпластификатора С-3 в воду гашения способствует увеличению процентного содержания частиц размером 0–4 мкм, хотя содержание частиц размером менее 12 мкм несколько ниже и составило 37%. Максимальный размер частиц составляет 17 мкм, в то время как у извести, полученной гашением в стандартных условиях (В/И = 0,3), – 20 мкм. Гашение комовой извести водой с добавкой С-3 в количестве 0,4% способствовало незначительному увеличению дисперсности гидратной извести, поэтому введение в воду гашения суперпластификатора С-3 в количестве 0,7% предпочтительнее.

Размер частиц извести оказывает существенное влияние на показатель прочности известковых

композитов. Уменьшение размера частиц Ca(OH)<sub>2</sub> способствовало увеличению прочности на сжатие известково-диатомовых композиций. В возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии контрольных образцов (известь:диатомит 1:3 (известь, гашеная 45% воды от массы CaO) составила R=0,67 МПа; в то время как у состава на извести Ca(OH)<sub>2</sub>, гашеной 30% воды, – 0,96 МПа. Введение в воду затворения добавки С-3 в количестве 0,7% от массы CaO способствует значительному повышению прочности композиций на сжатие (R = 1,5) МПа. Это также связано и с разным содержанием тончайших фракций гидратов оксида кальция в смеси.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показал, что дисперсность диатомита в естественном состоянии и подвергнутого термической обработке существенно не различается [19–21]. Так, содержание крупных частиц, радиусом более 20 мкм, составляет: для диатомита фракции 0,31–0,14 – 54,9%; для диатомита, подвергнутого обжигу при температуре 700°C, – 54,51 мкм. Закономерно, что наибольшее процентное содержание таких частиц (61,13%) и наибольший максимальный радиус частиц  $r_{\max} = 44$  мкм наблюдались в диатомите фракции 0,63–0,31.

Важнейшим показателем эксплуатационных свойств отделочных составов является прочность при сжатии и кинетика изменения ее во времени. В связи с этим изучены прочностные характеристики известково-диатомитовых композиций, а также процесс твердения отделочного состава.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, свидетельствует, что термообработка диатомита при невысоких температурах (200°C и 300°C) не оказывает существенного влияния на прочность при сжатии композиций. Увеличение температуры обжига до 700°C приводит к повышению прочностных характеристик до R<sub>сж</sub> = 4,38 МПа. Однако наибольший эффект достигается при термообработке диатомита

**Таблица 1**  
**Влияние условий гашения на дисперсность частиц извести**

Условия гашения извести	Размер частиц, мкм				$r_{\max}$ , мкм
	0–4	4–8	8–12	> 12	
	Содержание фракции, D				
В/И = 0,3	8	13	17	61	20
В/И = 0,3	7	7	11	75	21
В/И = 0,4	9	12	15	62	20
В/И = 0,3 с добавлением С-3 в количестве 0,4% от массы CaO	14	10	13	63	17
В/И = 0,3 с добавлением С-3 в количестве 0,7% от массы CaO	14	10	13	63	17

**Таблица 2**  
**Распределение частиц диатомита по размерам**

Исследуемый материал	Радиус частиц, мкм						
	0–4	4–8	8–12	12–16	16–20	> 20	$r_{\max}$ , $\mu\text{m}$
	Содержание каждой фракции, %						
Диатомит (фракция 0,31–0,14)	5,6	20,65	6,25	5,75	6,85	54,9	39
Диатомит (фракция 0,63–0,31)	2,9	14	7,95	6,0	8,02	61,13	44
Диатомит (фракция 0,31–0,14), обожженный при температуре 700°C	3,5	17,83	7,2	8,65	8,31	54,51	40

**Таблица 3**  
**Прочность при сжатии композиции в зависимости от температуры термообработки диатомита**

Температура обработки, °C	Прочность при сжатии в возрасте 28 сут, МПа
20	0,9
200	0,94
300	0,98
700	4,38
900	5,1

*Примечание.* Соотношение известь:диатомит = 1:3

при температуре  $t = 900^\circ\text{C}$ . Значение предела прочности при сжатии составило  $R_{\text{сж}} = 5,1 \text{ МПа}$ . При температуре обжига 700°C и 900°C диатомит при-

обретает ярко-оранжевый оттенок, что позволяет разнообразить цветовую гамму отделочного слоя без введения пигментов. Однако, с точки зрения энергозатрат, более целесообразна термообработка наполнителя сухой смеси при  $t = 700^\circ\text{C}$ . Были получены экспериментальные данные предела прочности при сжатии известково-диатомитовых составов при различном соотношении компонентов сухой смеси и в присутствии добавок.

Анализ экспериментальных данных показал (табл. 4), что образцы с большим содержанием диатомита обладают более высокой прочностью при сжатии. Так, прочность при сжатии образцов с соотношением известь:диатомит 1:1 составила 0,44 МПа; с соотношением 1:2 – 0,6 МПа, а при известково-диатомитовом соотношении 1:3 – 0,9 МПа. Выявлено, что увеличение дисперсности наполнителя сухой смеси приводит к возрастанию прочностных

**Таблица 4**  
**Прочность при сжатии известково-диатомитовых композиций**

Известково-диатомитовое соотношение	Фракция диатомита	Вид добавки	Содержание добавки	Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа
1:1	0,63–0,31	–	–	0,36
1:2		–	–	0,47
1:3		–	–	0,68
1:1	0,31–0,14	–	–	0,44
1:2		–	–	0,6
1:1		–	–	0,9
1:3	0,31–0,14	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	2	1,1
			5	1,9
			10	2,1
1:3	0,31–0,14	C-3	0,5	0,9
			1,0	0,9
			1,5	0,9

характеристик известково-диатомитовых композиций. Прочность при сжатии образцов, содержащих диатомит более грубого помола (фракция 0,63–0,31), составила 0,68 МПа, а при применении диатомита фракции 0,3–0,14 – 0,9 МПа.

Выявлено, что увеличение дисперсности наполнителя сухой смеси приводит к возрастанию прочностных характеристик известково-диатомитовых композиций. Прочность при сжатии образцов, содержащих диатомит более грубого помола (фракция 0,63–0,31), составила 0,68 МПа, а при применении диатомита фракции 0,3–0,14 – 0,9 МПа. Полученные экспериментальные данные показали, что известково-диатомитовые составы имели невысокую прочность. В связи с этим с целью повышения прочностных характеристик и снижения усадочных деформаций в рецептуру смеси вводили добавку сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Было установлено, что с увеличением содержания добавки сульфата алюминия возрастает прочность при сжатии. Так, прочность при сжатии составила при содержании  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в количестве 2% от массы сухих компонентов – 1,1 МПа, в количестве 5% – 1,9 МПа, в количестве 10% – 2,1 МПа. Следует отметить, что увеличение процентного содержания сульфата алюминия с 2 до 5 % повысило прочность при сжатии отдельного состава в 2,2 раза. Дальнейшее увеличение количества добавки сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в смеси до 10 % привело к незначительному возрастанию прочности при сжатии (в 1,1 раза по сравнению с известково-диатомитовым составом с содержанием  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в количестве 5%). Поэтому наиболее оптимальным является введение в рецептуру смеси добавки сульфата алюминия в количестве 5% от массы сухих компонентов. Это подтверждают данные адсорбции сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  из водного раствора на поверхности диатомита (табл. 5).

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что при содержании сульфата алюминия в водном растворе до 5% добавка практически полностью адсорбируется на поверхности наполнителя. При дальнейшем увеличении концентрации добавки в водном растворе количество адсорбированного  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  существенно не изменяется. Результаты исследований показали, что при содержании сульфата алюминия в водном растворе в количестве 3% от массы наполнителя на поверхности диатомита адсорбировалось 0,0287 г добавки на 1 г диатомита, при содержании 5% – 0,0492 г/г, при содержании 10% – 0,0506 г/г.

Анализ экспериментальных данных показал, что оптическая плотность водного раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  над поверхностью извести составила  $D = 0,145$ . Введение в воду затворения суперпластификатора С-3 при гидратации извести  $\text{CaO}$  способствовало образова-

Таблица 5  
Адсорбция сульфата алюминия

Исследуемый материал	Количество адсорбированного сульфата алюминия, %
Гашеная известь, полученная гашением водой	43
Гашеная известь, полученная в присутствии пластификатора С-3 в количестве 0,7% от массы извести	55
Диатомит	52
Диатомит после обжига при температуре 700°C	71

нию более дисперсной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и, как следствие, увеличению поверхности адсорбента. Вследствие этого оптическая плотность водного раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  над поверхностью гидратной извести, полученной гашением в присутствии добавки С-3, снизилась и составила  $D = 0,115$ . Исследование адсорбции сульфата алюминия на поверхности наполнителя сухой смеси показало, что термически обработанный диатомит обладает большим адсорбционным эффектом. Так, оптическая плотность водного раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  над поверхностью диатомита составила  $D = 0,12$ , над поверхностью обожженного диатомита  $D = 0,075$ . Дисперсность диатомита в естественном состоянии и подвергнутого термической обработке существенно не различается, поэтому возрастание адсорбционной способности обожженного диатомита свидетельствует об увеличении числа активных центров на его поверхности.

Данные адсорбции, результатов термодинамических расчетов позволяют утверждать, что наиболее вероятным механизмом, активирующим процесс твердения, является образование этtringита, сформировавшегося вследствие введения расширяющей добавки сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Кристаллы этtringита, располагающиеся в порах и неплотностях, армируя и уплотняя структуру материала, способствовали повышению прочности композита.

Впоследствии под воздействием углекислого газа  $\text{CO}_2$ , находящегося в воздухе, произошла перекристаллизация этtringита в гидрокарбоалюминат кальция  $3\text{CaO}\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaCO}_3\text{12H}_2\text{O}$ . Это соединение играет значительную роль в процессах твердения композита, обеспечивая получение прочных контактов на границе вяжущее-заполнитель. Этот вывод подтверждается данными качественного рентгеноструктурного анализа. Исследования твердофазовых реакций проводились на известково-диатомитовых

образцах с добавкой сульфата алюминия в количестве 5% от массы сухой смеси в возрасте 1 года твердения в воздушно-сухих условиях. На рентгенограмме установлено наличие пиков, характерных для гидросиликата кальция  $\text{C}-\text{S}-\text{H}(\text{I})$ , гидрокарбоалюмината кальция  $3\text{CaOAl}_2\text{O}_5\text{CaCO}_312\text{H}_2\text{O}$ , карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$  и каолинита  $\text{Al}_2\text{O}_32\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$ . Обнаружено также наличие линий  $\beta$ -кварца (примеси диатомита)

Известно, что известково-диатомитовые композиции характеризуются чрезвычайно медленным набором прочности. При оценке кинетики твердения известково-диатомитовых композиций было установлено, что введение в рецептуру смеси добавки  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  способствовало повышению прочности на сжатие на ранних стадиях твердения (рис. 1). Так, в возрасте 14 дней прочность на сжатие состава с добавкой сульфата алюминия составила 0,38 МПа, тогда как прочность на сжатие контрольного состава (без добавки) составила 0,25 МПа. Через 14 дней наблюдалось интенсивное увеличение прочности на сжатие для контрольного образца 0,9 и 1,9 МПа для образцов с добавкой сульфата алюминия.

Использование обожженного диатомита позволило значительно ускорить процесс твердения в начальный период. В возрасте 7 сут. прочность на сжатие образцов с диатомитом, термообработанным при  $t = 700^\circ\text{C}$ , составила 1,8 МПа, что значительно превышает прочность на сжатие образцов на основе необожженного диатомита не только на этой стадии твердения ( $R = 0,22$  МПа), но и в возрасте 90 дней ( $R = 1,55$  МПа).

Математическая модель, отражающая кинетические процессы набора прочности, описывается экспоненциальной зависимостью:

$$R_t = R_o(1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

где  $R$  и  $R_o$  – значения прочности в различный период времени  $t$ ;

$t$  – время твердения;

$k$  – коэффициент, зависящий от состава вяжущего.

После математической обработки экспериментальных данных, представленных на рис. 1, зависимость (1) приняла вид:

$R_t = 1.8992(1 - e^{-0.01965t})$  – для контрольного состав (известок:диатомит 1:3);

$R_t = 2.316(1 - e^{-0.033t})$  – для состава известок:диатомит 1:3 с добавкой  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;

$R_t = 9.653(1 - e^{-0.0166t})$  – для состава известок:диатомит 1:3, диатомит обожжен при  $t = 700^\circ\text{C}$ .

Дополнительно для оценки структурообразования известково-диатомитовых составов исследовалась кинетика связывания извести  $\text{CaO}$ . Содержание свободной  $\text{CaO}$  определялось путем титрования 0,05%-м раствором трилона Б водной вытяжки. Водная вытяжка изготавливается путем фильтрования суспензии, полученной затворением тщательно измельченной навески известково-диатомитового образца дистиллированной водой. Твердение образцов происходило в условиях, препятствующих доступу  $\text{CO}_2$  и протеканию карбонизации. Результаты испытаний представлены на рис. 2.

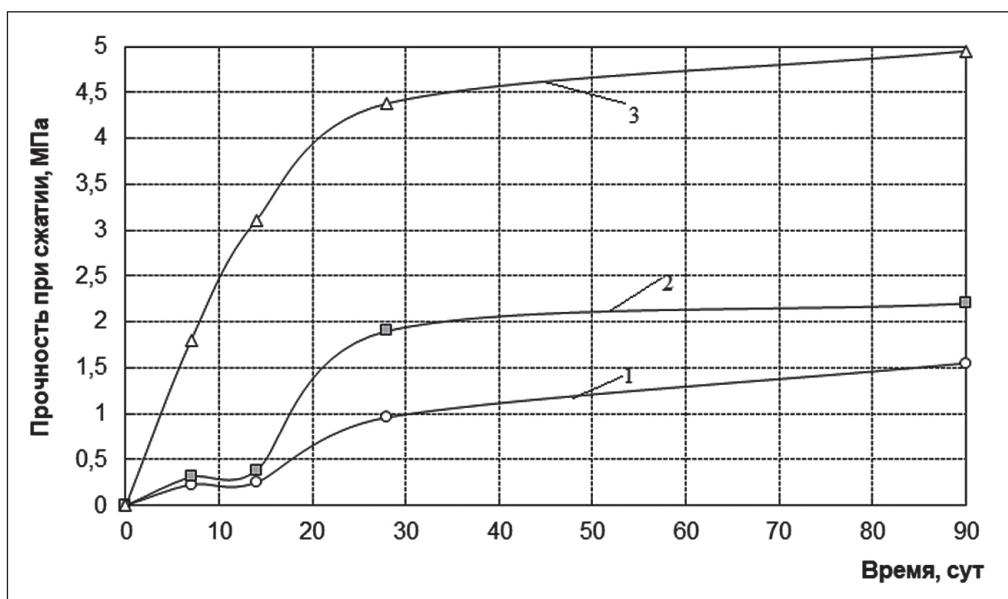
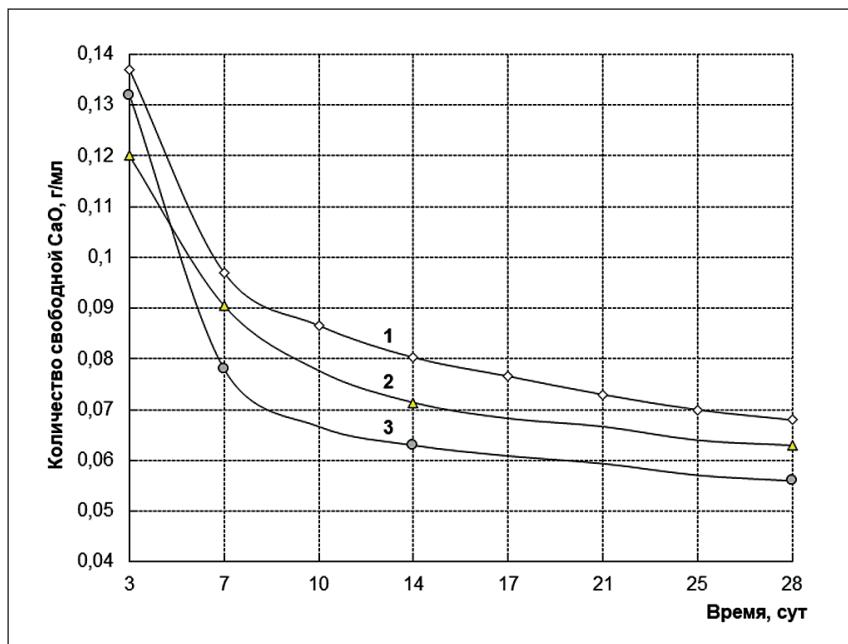


Рис. 1. Кинетика набора прочности известково-диатомитовых составов: 1 – контрольный состав (известок:диатомит 1:3); 2 – то же + 5%  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 3 – то же, диатомит обожжен при  $t = 700^\circ\text{C}$ .



**Рис. 2. Кинетика изменения концентрации CaO известково-диатомитовых составов:** 1 – известок:диатомит 1:3; 2 – то же + 5%  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 3 – то же, диатомит обожженный при  $t = 700^\circ\text{C}$

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что с течением времени наблюдается уменьшение количества свободной извести. Так, в возрасте 3 суток количество свободной CaO в составе известок:диатомит 1:3 составляет 0,137 г/мл, а в возрасте 28 суток 0,068 г/мл. Введение в рецептуру смеси добавки сульфата алюминия увеличивает количество химически связанной извести. Содержание

свободной извести в возрасте 28 суток составляет 0,063 г/мл.

Наименьшее содержание свободной извести на 28-е сутки твердения наблюдается в составах с обожженным диатомитом (0,056 г/мл). Полученные результаты коррелируют с кинетикой набора прочности. Данные, приведенные на рис. 1, показывают, что процесс твердения может быть описан

#### Таблица 6

Технологические и эксплуатационные свойства разработанной ССС и покрытий на ее основе

Наименование показателя	Величина показателя отделочного состава	
	разработанного	прототипа
Адгезионная прочность, МПа	0,5...0,7	Более 0,35
Когезионная прочность, МПа	0,7...0,8	
Время высыхания до степени 5, мин	Не более 60	Не более 60
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	До 1	3...30
Удобоукладываемость	хор	хор
Наличие трещин	нет	нет
Водоудерживающая способность, %	95–96	Не менее 98
Жизнеспособность, час, при хранении – в открытых емкостях; – в закрытых емкостях	8–10 40–48	1 –
Расход при нанесении отделочного состава при нанесении одного слоя толщиной 10 мм, кг/м <sup>2</sup>	0,2...0,4	

S-образной кривой, свидетельствующей о наличии на ранних этапах структурообразования новообразований, имеющих коагуляционную структуру. Рост кристаллической структуры составов наблюдался спустя 14 суток твердения. Наличие в рецептуре смеси добавки  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  увеличило скорость набора прочности известково-диатомитовых композиций. Так, скорость набора прочности составила в период 7–14 суток 0,01 МПа/сут, в то время как у контрольного состава – 0,003 МПа/сут.

Термическая активация диатомита и введение в сухую смесь добавки сульфата алюминия привело к повышению адгезионных свойств известково-диатомитовых составов и получению монолитного покрытия. Установлено, что предел прочности при растяжении состава с добавкой составил = 0,76 МПа, а адгезионная прочность 0,39 МПа на кирпичной и 0,44 МПа на цементно-песчаной подложках.

Технологические и эксплуатационные свойства разработанной сухой смеси сравнивали со свойствами цементно-известково-песчаной сухой смеси ЕК ТТЗО, произведенной компанией «ЕК-Кемикл». В табл. 6 приведены сравниваемые технологические и эксплуатационные свойства отделочного состава на разработанной сухой смеси и состава-прототипа. Установлено, что по технологическим и эксплуатационным свойствам разработанная сухая смесь не уступает

прототипу. Однако производство предлагаемой ССС является более экономичным в связи с использованием местного сырья и отечественных добавок.

## ВЫВОДЫ

Выявлено, что введение добавки С-3 в воду гашения способствует увеличению дисперсности гидратной извести, улучшению пластичности отделочной смеси и повышению физико-механических характеристик известково-диатомитовых композиций. Предложено проводить гашение извести в присутствии суперпластификатора С-3 в количестве 0,7% от массы комовой извести.

Установлено влияние дисперсности компонентов и рецептуры сухой смеси на структурообразование отделочных композиций. На основе данных качественного рентгеноструктурного анализа выявлено образование гидросиликата кальция  $\text{C}-\text{S}-\text{H}(\text{I})$ , гидрокарбоалюмината кальция, карбоната кальция.

Предложено вводить в рецептуру сухой смеси добавку сульфата алюминия. Выявлено повышение прочности при сжатии отделочного состава с добавкой сульфата алюминия в 1,5–2 раза. Установлено оптимальное содержание добавки сульфат алюминия в составе сухой смеси, составляющее 5% от массы сухих компонентов смеси.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Xu S., Wang J., Ma Q., Zhao X., Zhang T. Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate. *Construction and Building Materials*. 2014; 73: 33–40. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062)
2. Gubareva E.N., Ogurtsova Y.N., Strokova V.V., Labuzova M.V. Comparative activity evaluation for silica raw materials and photocatalytic composite materials based on them. *Obogashchenie Rud*. 2019; 6: 25–30. Available from: [doi: 10.17580/or.2019.06.05](https://doi.org/10.17580/or.2019.06.05)
3. Loganina V.I. Compositions for interior walls of buildings on the basis of local materials. *Contemporary Engineering Sciences*. 2015; 8(5–8): 241–245. Available from: [doi: 10.12988/ces.2015.5124](https://doi.org/10.12988/ces.2015.5124)
4. Loganina, V.I., Makarova, L.V., Tarasov, R.V., Akzhigitova, E.R. 2014 Mineral additive based on the mixed-layer clays for dry construction mixes. *Contemporary Engineering Sciences*. 2014; 7(25–28): 1547–1554. Available from: [doi: 10.12988/ces.2014.49182](https://doi.org/10.12988/ces.2014.49182)
5. Li J., Jin Q., Zhang W., Li C., Monteiro P.J.M. Microstructure and durability performance of sustainable cementitious composites containing high-volume regenerative biosilica. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022; 178: 106038. Available from: [doi: 10.1016/j.resconrec.2021.106038](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106038)
6. Xiao L.-G., Liu X.-X. Effect of Diatomite on Thermal Insulation Properties of Straw Fiber Cement-based Composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 295(3): 032047. Available from: [doi: 10.1088/1755-1315/295/3/032047](https://doi.org/10.1088/1755-1315/295/3/032047)
7. Durán-Suárez, J.A., Sáez-Pérez M.P. Characterization of Classical Construction Materials used in Ethiopian Architecture for the Restoration of their Historic and Artistic Heritage. *International Journal of Architectural Heritage*. 2019; 13(6): 855–869. Available from: [doi: 10.1080/15583058.2018.1489014](https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1489014)

8. Zemanová L., Pokorný J., Pavlíková M., Pavlík Z. Properties of modified lime-based plasters for renewal of historical buildings exposed to accelerated carbonation test. *Materials Science Forum*. 2017; 909: 286–290. Available from: [doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286)
9. Kapeluszna E., Szudek W., Wolka P., Zieliński A. Implementation of alternative mineral additives in low-emission sustainable cement composites. *Materials*. 2021; 14(21): 6423. Available from: [doi: 10.3390/ma14216423](https://doi.org/10.3390/ma14216423)
10. Mota dos Santos A.A., Cordeiro G.C. Investigation of particle characteristics and enhancing the pozzolanic activity of diatomite by grinding. *Materials Chemistry and Physics*. 2021; 270: 124799. Available from: [doi: 10.1016/j.matchemphys.2021.124799](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124799)
11. Fořt J., Pavlíková M., Záleská M., Trník A., JANKOVSKÝ O. Preparation of puzzolana active two component composite for latent heat storage. *Ceramics - Silikaty*. 2016; 60(4): 291–298. Available from: [doi: 10.13168/cs.2016.0044](https://doi.org/10.13168/cs.2016.0044)
12. Loganina, V.I., Zhegera, C.V. 2015 The effectiveness of use of the composite binder as a dry mix. *Case Studies in Construction Materials*. 2015; 3: 137–140. Available from: [doi: 10.1016/j.cscm.2015.10.004](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.10.004)
13. Fořt J., Trník A., Pavlíková M., Pavlík Z., Černý R. Fabrication of Dodecanol/Diatomite Shape-Stabilized PCM and Its Utilization in Interior Plaster. *International Journal of Thermophysics*. 2018; 39(12): 137. Available from: [doi: 10.1007/s10765-018-2459-z](https://doi.org/10.1007/s10765-018-2459-z)
14. Liu R., Yang Y., Zhao X., Pang B. 2021 Quantitative phase analysis and microstructural characterization of Portland cement blends with diatomite. *Journal of Materials Science*. 2021; 56(2): 1242–1254. Available from: [doi: 10.1007/s10853-020-05429-1](https://doi.org/10.1007/s10853-020-05429-1)
15. Liu R., Yang Y., Zhao X., Pang B. Quantitative phase analysis and microstructural characterization of Portland cement blends with diatomite. *Journal of Materials Science*. 2021; 56(2): 1242–1254. Available from: [doi: 10.1007/s10853-020-05429-1](https://doi.org/10.1007/s10853-020-05429-1)
16. Zemanová L., Pokorný J., Pavlíková M., Pavlík Z. Properties of modified lime-based plasters for renewal of historical buildings exposed to accelerated carbonation test. *Materials Science Forum*. 2017; 909: 286–290. Available from: [doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.909.286)
17. Al-Sabagh A.M., El-Awamri A.A., Abdou M.I., Abd El Fatah H.M., Rasmy W.E. Egyptian diatomite as high fluid loss squeeze slurry in sealing fractures and high permeable formation. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2016; 25(3): 409–421. Available from: [doi: 10.1016/j.ejpe.2015.09.005](https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.09.005)
18. Loganina V.I., Laskov N.N., Boldyrev G.G. Influence of thermoactivation on properties of mineral additives in dry mixtures. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 2124(1):012003. Available from: [doi: 10.1088/1742-6596/2124/1/012003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2124/1/012003)
19. Callebaut K., Elsen J., Van Balen K., ViaeneW. Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement? *Cement and Concrete Research*. 2001; 31 (3): 397–403. Available from: [doi: 10.1016/S0008-8846\(00\)00499-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00499-3)
20. Grist E.R., Paine K.A., Heath A., Norman J., Pinder H. Compressive strength development of binary and ternary lime-pozzolan mortars. *Materials and Design*. 2013; 52: 514–523. Available from: [doi: 10.1016/j.matdes.2013.05.006](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.006)
21. Velosa A.L., Cachim P.B. Hydraulic-lime based concrete: Strength development using a pozzolanic addition and different curing conditions. *Construction and Building Materials*. 2009; 23(5): 2107–2111. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.013](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.013)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Логанина Валентина Ивановна** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление качеством и технология строительного производства» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, Пенза, Россия, loganin@mail.ru, [https://orcid.org/ 0000-0001-7532-0074](https://orcid.org/0000-0001-7532-0074)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принятая к публикации 15.03.2022.

## Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part II<sup>1)</sup>

Leonid A. Ivanov<sup>1\*</sup> , Li D. Xu<sup>2</sup> , Svetlana R. Muminova<sup>3</sup> , Valentina M. Feoktistova<sup>4</sup> , Elena V. Romanova<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA

<sup>3</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, Russia

<sup>5</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

\* Corresponding author: e-mail: L.a.ivanov@mail.ru

**ABSTRACT: Introduction.** Advanced technologies impress people's imagination demonstrating the latest achievements (materials, methods, systems, technologies, devices etc.) that dramatically change the world. This, first of all, concerns nanotechnological inventions designed by scientists, engineers and specialists from different countries. **Main part.** The article provides an abstract overview of inventions of scientists, engineers and specialists from different countries: Germany, Russia, USA, et al. The results of the creative activity of scientists, engineers and specialists, including inventions in the field of nanotechnology and nanomaterials allow, when introduced to industry, achieving a significant effect in construction, housing and communal services, and related sectors of the economy. For example, the task resolved by the invention «A composition on the basis of oxide nanostructures to provide surface with superhydrophobic properties», means to design a new method of obtaining materials with superhydrophobic properties which possess improved performance and functional characteristics which can be applied in various areas: power engineering, electronics, machine-building, construction, ship-building, aviation, aerospace and food industries. The feature of the invention is that the surfaces demonstrate superhydrophobic properties and, as a result of that, their applying allows protecting metal structures, such as power lines, frame structures, roofs, from ice formation and dirtying. The technical result is possible due to the use of composition on the basis of oxide nanostructures to provide surface with superhydrophobic properties. The composition contains tetraethoxysilane and tetraisopropyl titanate as structure-forming agents, hexamethyldisilazane as hydrophobic element, isopropyl alcohol as dissolvent, non-spheric nanocrystal titanium dioxide with particle size from 10 to 50 nm as a grow accelerator of anisotropic structures to provide specified roughness of the surface. The specialist can be also interested in the following inventions in the area of nanotechnologies: a composite heat-conducting material on the basis of nanoliquid, a nanocomposite material on the basis of potassium titanate, a method of obtaining of nanodispersed powders, hybrid supercondenser on the basis of nanosized nickel hydroxide, etc. **Conclusion.** One of the most challenging tasks the economy of every country faces is to increase industrial competitiveness through technological upgrade. From the side of the state and companies the principal object to control in this process are the people and enterprises dealing with introduction of inventions and new technologies.

**KEYWORDS:** nanotechnologies in construction, nanocrystal titanium dioxide, nanostructure, nanoliquid, nanodispersed powder, nanosized particle.

**FOR CITATION:** Ivanov L.A., Xu L.D., Muminova S.R., Feoktistova V.M., Romanova E.V. Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 105–112. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-105-112>.

### INTRODUCTION

Advanced technologies impress people's imagination demonstrating the latest achievements (materials, methods, systems, technologies, devices etc.) that dramatically change the world. This primarily concerns nanotechnological inventions designed by scientists, engineers and specialists from different countries (Germany, Russia, USA, et al.).

### MAIN PART

**A composition on the basis of oxide nanostructures to provide surface with superhydrophobic properties (RU 2763891 C1)**

Due to the change of the climate in the last decades the number of the areas and territories with significant change of temperature has increased. That caused fre-

<sup>1)</sup> Continuation. Part I is published in the journal "Nanotechnology in Construction". 2022. V. 14. No. 1.

© Ivanov L.A., Xu L.D., Muminova S.R., Feoktistova V.M., Romanova E.V., 2022

quent occurrence of icing and pollution of the articles, structures and facilities of different nature (metal, glass, wooden and other types), for example, power lines, frames, roofs and other. If the freeze is not severe, when winter is mild, the rain or fog drops lodge on the surface of the materials. Freezing, they form dense ice «coat». That can lead, for example, to broken wires and to destroyed electricity pylons.

The formation of water layer on material surface is directly depends on the hydrophilic or hydrophobic properties of the surface. To protect the surface and to increase its wear-resistance it is necessary to provide the surface with hydrophobic or super hydrophobic properties, minimizing the contact between the water and surface of the material. Super hydrophobic property is a unique characteristic of the materials, which appears in total liquid non-wettability of the surface. At present, the first steps towards development of the composition on the basis of oxide nanostructures to provide various surfaces with super hydrophobic properties have been made. These coatings possess specific physical and chemical as well as structural and mechanical properties, therefore, development of the materials with super hydrophobic properties and their practical application is of great importance.

The task resolved by the invention «A composition on the basis of oxide nanostructures to provide surface with super hydrophobic properties», means to design a new method of obtaining materials with super hydrophobic properties which possess improved performance and functional characteristics which can be applied in various areas: power engineering, electronics, machine-building, construction, ship-building, aviation, aerospace and food industries. The feature of the invention is that the surfaces demonstrate super hydrophobic properties and, as a result of that, applying of the, allows protecting metal structures, such as power lines, frame structures, roofs, from ice formation and pollution [1].

The technical result is achieved due to the use of composition on the basis of oxide nanostructures to provide surface with super hydrophobic properties. The composition contains tetraethoxysilane and tetraisopropyl titanate as structure-forming agents, hexamethyldisilazane as hydrophobic element, isopropyl alcohol as dissolvent, non-spheric nanocrystal titanium dioxide with particle size from 10 to 50 nm as a grow accelerator of anisotropic structures to provide specified roughness of the surface. The ratio of the components is as follows, in % (mass.): tetraethoxysilane – 1–10, tetraisopropyl titanate – 1–15, hexamethyldisilazane – 2–10, nanocrystalline titanium dioxide – 0,01–1, isopropyl alcohol – the rest.

A composition on the basis of oxide nanostructures used to provide the surface with super hydrophobic properties is different as follows. Nanocrystalline titanium dioxide is introduced into reaction mass to intensify growing process of anisotropic structures to form specified rough-

ness of the coating, which provides super hydrophobic properties. This composition is a homogenous transparent liquid with a specific, not strong, smell and aggregative stability in storage process.

#### A composite heat-conducting material on the basis of nanoliquid (RU 2764219 C1)

Development of energy-packed electronic technologies caused the necessity to create efficient cooling systems and to control large heat flows. One of the ways to intensify heat transfer is to improve thermophysical characteristics of heat carrier. That can be achieved by increasing thermal conductivity by means of introduction of solid particles with high thermal conductivity. At this, along with thermal conductivity other characteristics are changed too. Viscosity of cooling substance is an important characteristic of cooling flow system.

In the process of designing such systems, nanoliquids are of great interest. Nanoliquid is a biphasic medium which consists of liquid and evenly distributed in it nanosize particles of solid phase. A particular feature of nanoliquids is a significant change of thermophysical properties of basic liquid even under small concentration of nanoparticles. At present, the use of nanoliquids as an efficient heat carrier is considered to be a promising method of obtaining new combined heat and power plants, heat energy transferring plants, various microelectromechanical systems, thermal interphase materials (TIM).

The given invention relates to heat-conducting pastes which contain a mixture of synthetic oil, silicone oil and a mixture of heat-conducting fillers. The composite heat-conducting material on the basis of nanoliquid can be used as heat carrier to create new combined heat and power plants and thermal interphase materials (TIM). The invention is a multicomponent heterogenic system filled with fine dispersed agglomerates of particles possessing various structure, heat-conducting characteristics, dielectric and mechanic properties under specified quantitative ratio between components as well as technological features of their combination [2].

The task of the invention is to widen the range of operation temperature and to increase thermal conductivity, that means to create heat conducting compound on the basis of nanoliquid. This compound is used for technical products and systems, which operation process requires efficient withdrawal of excessive thermal energy. The compound is to combine the following characteristics:

- optimum range of performance temperature for broader application in different electronic devices from 50 to 200 Celsius degrees;
- thermal conductivity 9 Watt/(m · K);
- density 3,5 g/cm<sup>3</sup>;
- dynamic viscosity 900 Pa;
- service life time 5 years.

The study determined the necessary quantity of nanopowder of heat conducting carrier (almost  $20\% \pm 0,07$ ). At this, the paste possesses geoline-like consistence under normal conditions. If the content of nanopowder of heat conducting carrier in the mixture is more than  $20\% \pm 0,07$ , the paste loses its geoline-like state and acquires crispy structure and becomes unsuitable for applying. The technical result is improved thermal conductivity and dynamic viscosity of obtained material.

#### A nanocomposite material on the basis of potassium titanate (RU 2766089 C1)

The task of the invention is to obtain a new type of potassium titanate powder which consists of squamous particles of submicron size decorated with nanosize particles of three-component layered double hydroxide. The technical result, obtained when the task is resolved, is the improved complex of tribological properties of potassium titanate powder, that is expressed in decreasing friction coefficient, rising wear-resistance of wearing surfaces and increasing critical load and welding load when using lubricant compositions containing this type of powder as an admixture [3]. The technical result is achieved as follows: in the modified powder of potassium titanate which consists of layered squamous particles of submicron size, the particles of potassium titanate are decorated with nanosized particles of carbonate shape of layered hydroxide containing Cu, Zn and Al, in which mole ratio of the mentioned metals is 1:1:1 with possible deviation in content of each element is not more than by 10%. It is efficiently also to use particles of nanocomposite material that are processed with surface-active substance, for example, non-ionic surface-active substance.

High tribological properties of the particles of nanocomposite material (modified potassium titanate), obtained by means of this method, introduced into wetting agent can be explained by their tribochemical interaction with metal wear surface, that results in formation of modified surface layers preventing from cooling due to their lower thermal conductivity compared to the one of the metal (steel).

Formation of modified layer on the wearing surface of the details in the presence of added particles potassium polythanate / layered double hydroxide, as well as filling surface roughness with them prevent from direct contact of tribointerface of details. All that results in increasing not only antifriction, but also antiwear and antiwelding properties of wetting agents. At this, antiwear properties of synthesized powders of modified potassium polythanate are also determined by their layered structure and low value of friction coefficient. At the same time, tribochemical interaction of potassium polythanate particles with steel surface leads to introduction of titanium into the surface layer of the metal and that increases its microhardness

and wear-resistance, similarly to action of the additives of the pure potassium polythanate powder. Alumina in modified powder of potassium polytitanate causes formation of special areas on wearing surfaces. These areas are covered with a film of aluminum oxide, and this film not only increase microhardness (wear-resistance) of steel surface, but also prevents from welding under the load (welding load rises). At the same time, introduction of copper into modified potassium polythanate allows significant improving anti-wear properties of the additives, that directly affects the properties of the copper-containing layers formed on the steel surface in the friction process between the layers. Copper-containing compounds are cladding additives which can form layers with high plasticity and low resistance to shear on the metal surface, all that additionally prevents from welding under high loads. As a result of this, additives of powder of modified potassium polytitanate provide higher anti-wear properties and higher load of welding lubricants on the basis of them.

The invention relates to chemical, automobile, machine engineering and textile industries and can be used in production of antifriction additives to wetting agents for rolling and sliding friction units.

#### A biocide composition and a method to obtain it (RU 2763930 C1)

The technical result of the invention is to obtain biocide composition for applying it as antimicrobial additive to paints and polymer materials to strengthen antimicrobial effect due to the presence of nanoparticles of zinc oxide in it, that causes damage of bacteria's protein structure and their destruction [4]. The imposed task is resolved in the following way: the biocide composition consists of nanoparticles of zinc oxide which are homogeneously distributed in the dissolvent and the particular feature is that the size of nanoparticles of zinc oxide is  $80 \pm 10$  nm and the specific surface is  $10 \pm 2$   $m^2/g$ , with additional content of nanoparticle stabilizer chosen from the group that comprises polycarboxylate, polyvinyl pyrrolidone, 2-amino-2-methyl-1-propanol, 8-oxyquinoline, phenanthroline, dipyridyl or their combination, and the ratio of mass% is as follows:

- nanoparticles of ZnO 30–50;
- nanoparticle stabilizer 2,0–4,0;
- dissolvent 46–68.

To combine biocide composition with a thermoplastic polymer (polymethyl methacrylate and copolymers, polylactide, polyethene of low density, polypropylene, polystyrene and others) a dried composition is used. For that, processed nanoparticles are separated from the dissolvent and are dried in the chamber under the temperature 90–100°C for 5 hours.

At least one substance which acts as the stabilizer in this invention is chosen from the following list:

polycarboxylate, polyvinyl pyrrolidone, 2-amino-2-methyl-1-propanol, 8-oxyquinoline, phenanthrolin, dipyridyl or their combination. These organic compounds meet the requirement specified for ligands for surface treatment of zinc oxide nanoparticles. They contain atoms of nitrogen and oxygen, the orientation of atoms of nitrogen and oxygen respect to each other is fixed, that determines strong interaction between organic molecule and cation of metal.

The biocide composition which contains from 30 to 50 mass.% zinc oxide nanoparticles keeps sedimentation stability for a long time that is necessary for transportation and use of concentrate. If the content of zinc oxide nanoparticles in the concentrate is less than 30 mass.%, it must be loaded into paint in large quantities, that leads to undesirable dilution of paints or polymer material. If the content of zinc oxide nanoparticles in the concentrate is more than 50 mass.%, ultra sound treatment is not efficient for dispergation of nanoparticles, the average size of particles (nanoparticle aggregations) in concentrate is more than 100 nm. That causes loss of sedimentation stability and decrease of antimicrobial activity of the concentrate.

#### A method of obtaining nanodispersed powders (RU 2763814 C1)

The invention relates to powder metallurgy, in particular, to obtaining nanodispersed wolfram-containing powders used in production of hard alloys on the basis of wolfram. The technical result is the production of nanodispersed powders containing wolfram or tungsten carbide from articles or wastes made of hard alloys, such as titanotantalovolframocobalt hard alloys, titanium-tungsten-cobalt hard alloys, tungsten-cobalt hard alloys or similar ones, with high technologies or productivity, low energy consumption and possibility to dispose hard alloy wastes. To obtain nanodispersed powder, a universal equipment of simple design, safe and with long operational life is used. Synthesis of nanodispersed powders can be performed under room temperature. The outcome of this process can be high quality nanodispersed powders of wolfram, wolfram carbide, mixture of wolfram and titanium carbides, carbides of wolframe, titanium and tantalum, as well as other compounds that are the basic components of disposed metal wastes [5].

The technical result of the invention is achieved as follows: to obtain wolfram-containing nanodispersed powders, articles and/or wastes of hard alloys are loaded into sealed reactor which angle of slope to spinning axis is from 0 to 90 degree, and dispersing fluid which pH is 1–4 is poured. The dispersing fluid consists of aqueous solution  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  with concentration 5–30 g/l, sulphuric acid and microorganisms *Thiobacillus ferroxidans*. Synthesis of nanodispersed powders is carried out with ratio

1:(1–7) between solid and liquid phases, respectively. Reactor continuously rotates with the rate 2–60 rotations per minute under the temperature 16–35°C for 480–600 hours. After that, sludge is allowed to settle, the solution is decanted, the obtained precipitation is washed, dried and sieved.

Rotating sealed reactor can be made in the form of drum with round or polyhedral cross-section, in the bicubic, biconic or V-shape form. The figure shows the device for obtaining nanodispersed powders, with working tool in the biconic form (fig. 1). Such alloys as titanotantalovolframocobalt hard alloys, titanium-tungsten-cobalt hard alloys, tungsten-cobalt hard alloys are used as hard alloys. When the body frame rotates, dispersing fluid, hard alloy articles and/or wastes are displaced.

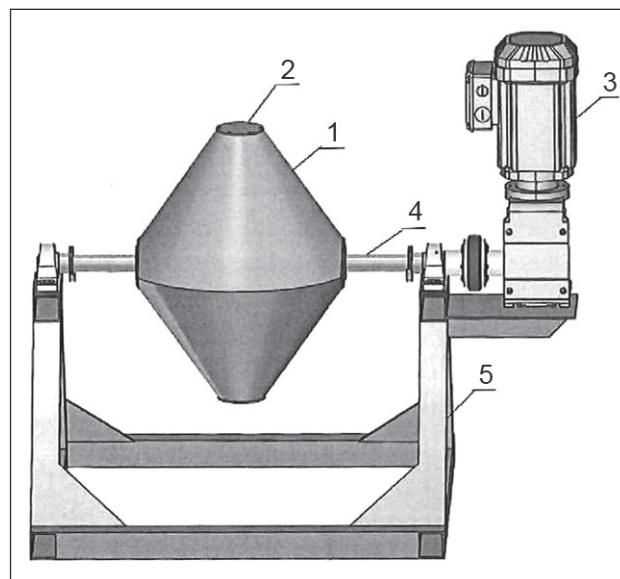


Fig. 1. A device for obtaining nanodispersed powders, with working bicone tool: 1 – welded shell of stainless steel in the shape of bicone; 2 – loading system; 3 – engine; 4 – shaft; 5 – foundation slab

#### A polymer material (RU 2765293 C2)

The invention relates to polymer material used in production of fiber, film or absorbing article; it also concerns fiber, non-woven fabric and absorbing article which comprise mentioned polymer material as well as to the methods of formation of polymer material and fiber. The polymer material contains thermoplastic composition. The composition contains continuous phase which includes matrix polymer and siloxane component. The siloxane component contains super high molecular siloxane polymer which is dispersed in the continuous phase in the form of discrete domains. There is a pore network with numerous nanopores in the thermoplastic composition. The siloxane component is characterized by

weight-average molecular weight which is approximately 100 000 g/mole or more. Matrix polymer includes a complex polyester or polyolefine. The technical result is the improved porous polymer material [6].

According to one of the options of the present invention, a polymer material (for example, fiber, fiber, molded product) with thermoplastic composition is described. The composition contains continuous phase which comprises matrix polymer and siloxane component. The siloxane component contains super high molecular siloxane polymer which is dispersed in the continuous phase in the form of discrete domains. There is a pore network with numerous nanopores in the thermoplastic composition.

In general, the present invention is aimed at polymer material (for example, fiber, fiber, molded product, etc.) which is formed by drawing-out thermoplastic composition (for example, drawing-out in solid state) that contains continuous phase which included matrix polymer and siloxane component. Siloxane component contains, at least, one super high molecular siloxane polymer which is due to its molecular weight and viscosity can be dispersed in continuous phase in the form of discrete nanosize phase domains. Moreover, despite of its high molecular weight and viscosity, the chain of siloxane polymer can remain flexible and possess free volume, that means, it can be in relatively soft state, like liquid one. Siloxane polymer is also hydrophobic, that can minimize friction on the interface of matrix polymer. Moreover, due to its chemical structure and free volume, siloxane polymer can be characterized by relatively low bond strength and can easily form voids under mechanical impacts and deformation.

#### Hybrid supercondenser on the basis of nanosize nickel hydroxide (RU 2763028 C1)

The technical solution is related to electric engineering and electrochemistry. It can be applied in portable electronics, as starter of automobile, in uninterruptible power supplies, flash-lights, medicine equipment. Nickel hydroxide, among metal hydroxides, is a widely used material for accumulator and super condensers due to its multi-layer structure with large interlayer distance and relative safety for environment, high theoretical capacity, perfect electrochemical properties, stability, low cost and availability. To increase specific capacity, various methods of synthesis are used. Highly porous structure and high specific area of the surface improve electrochemical properties due to faster and easier diffusion of electrolyte on the active segments and more frequent use of the mass. There are methods to control the properties of obtained hydroxide, such as change of its structure in synthesis, as well as doping it with various additives (cobalt, aluminum, zinc, etc.). That makes it possible to significantly improve properties of obtained hydroxide and its electrochemical capacity.

The technical result of the invention is achieved as follows: hybrid supercondenser on the basis of nanosize nickel hydroxide consists of plastic frame (fig. 2) which includes a cap, a holder of valve and a glass in which two electrodes are placed, at this, one electrode is made of nanocarbon material, another electrode is made of nickel hydroxide, rolled and divided by separator; two foam nickel substrates, to each substrate a nickel conductor is welded; a valve for discharging excessive pressure of emitted gases is in the frame; at this, 30% solution of potassium hydroxide, dissolved in water, is poured into frame [7].

A cap 1, a holder of valve 2 and a glass 3 are printed in 3D printer from acryl-butadiene-styrene plastic, which is resistant to alkali. These details being assembled is a frame of hybrid super condenser. a valve for discharging excessive pressure 4 is a mass-produces valve, model 7HH1103383-3. It is used in super condenser to aggregate excessive pressure of the gases emitted in the process of degrading of aqueous electrolyte if current or resistant exceed limit values, as well as in case of excessive overcharge. Rolled block of electrodes 5 is a system of two electrodes, for each of them electrochemically activated foam nickel is used as a substrate. The first electrode is made of carbon nanomaterial, for example, from "Taunit-M". The second electrode is made of nickel hydroxide with high specific surface and stable particles. The nickel conductor 6 is welded to foam nickel substrate. The technical result of the proposed invention is the increased capacity characteristics of the hybrid super condenser.

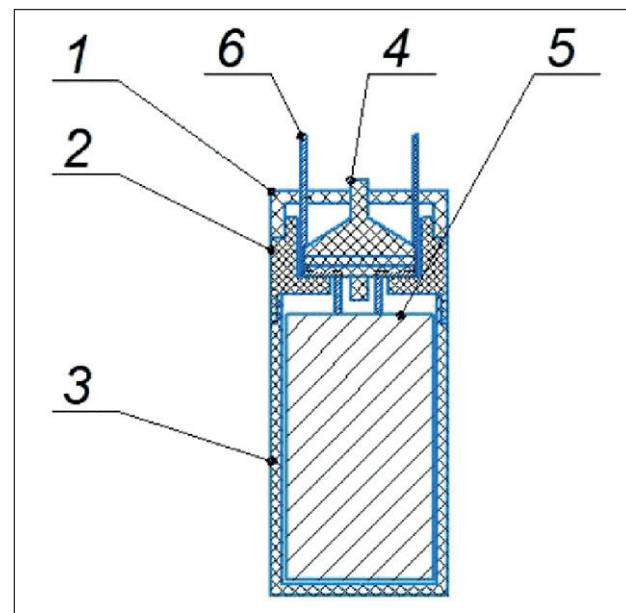


Fig. 2. Hybrid supercondenser on the basis of nanosize nickel hydroxide: 1 – cap; 2 – holder of valve; 3 – glass; 4 – a valve for discharge of excessive pressure; 5 – rolled block of electrodes; 6 – nickel conductor

### A method of obtaining tungstenless hard-alloy powder materials in distilled water (RU 2763431 C1)

The invention relates to powder metallurgy, in particular to compositions and methods of obtaining tungstenless hard-alloy powder, and can be used to produce sintered bodies, to apply wear-resistant coatings to restore and strengthen details of the equipment employed in mining and metallurgical industry and details of vehicles [8].

A method of obtaining tungstenless hard-alloy powder of micro- and nanosize spherical powders from the wastes of tungstenless hard-alloys comprises electroerosive dispersing of the wastes of hard-alloys. Electroerosive dispersing is performed in distilled water of the wastes of tungstenless hard-alloy of grade KHT-16 under impulse sequence frequency 100–105 Hz, voltage on electrodes 200–205 V and capacity of the condensers 65,5  $\mu$ F. After that, the obtained solution which contains micro-, nano- and coarse size powder is centrifuged to separate coarse powder from it. Then the solution which contains micro- and nanosize powder is evaporated and obtained micro- and nanosize powder is dried. That provides ecologically friendly process of obtaining tungstenless hard-alloy powder.

The first stage consists of sorting wastes of tungstenless hard-alloys, their washing, drying, oil removing and weighing. The reactor was filled with processing medium – distilled water – wastes were loaded into reactor. Electrodes were assembled. Installed electrodes were connected to the generator. The required parameters of the process were set: impulse sequence frequency, voltage on electrodes, capacity of condensers.

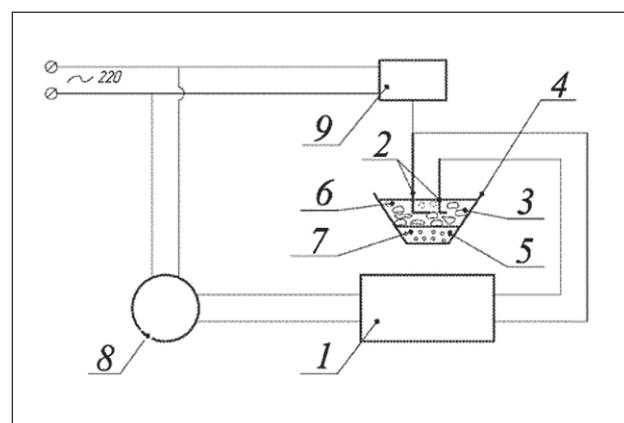
At the second stage – the stage of electroerosive dispersing (EED) – the installation was launched (fig. 3). Impulse voltage of the generator 1 is applied to electrodes 2 and then to the wastes 3 (the wastes of tungstenless hard-alloy of grade KHT-16 were also used as electrodes) in the reactor 4. When the voltage reaches the specified value, electric breakdown emerges in processing medium 5, it is in interelectrode space, the channel of discharge is formed. Due to high concentration of thermal energy, material melts and evaporates at the point of discharge, processing medium evaporates and extends around the channel of discharge with gas products of degradation (gas bubble 6). Due to dynamic forces, increasing in the discharge channel and gas bubble, the drops of melted metal are ejected out of discharge zone into processing medium, surrounding electrodes, and set solid in it, forming droplet particles of the powder 7. The voltage regulator 8 is used to set required voltage values and the rapper 9 shift one electrode, that provides continuous running of EED process.

At the third stage processing liquid with powder material is extracted from the reactor, fine dispersed particles are separated from the coarse dispersed ones in centrifuge.

At this, coarse particles are sedimented under the impact of centrifugal forces, and fine dispersed particles remain the solution.

At the fourth stage the solution is evaporated, dried, weighed, prepacked, packed with further examination of obtained powder material.

The achieved technical result is as follows: obtaining powder materials from wastes of tungstenless hard-alloy with regular spherical particles by means of electroerosive dispersing (EED) which process is characterized by low power consumption and ecological cleanliness.



**Fig.3. Process of electroerosive dispersing:**  
1 – generator; 2 – electrodes; 3 – wastes; 4 – reactor;  
5 – processing medium; 6 – channel of discharge;  
7 – droplet particles of the powder; 8 – voltage  
regulator; 9 – rapper

#### *The specialists can also be interested in the following inventions related to nanotechnologies:*

- Nanomodified building mortar [9].
- An undercoat composition for creation of light conductive coating of the detail prior to electrostatic painting, a method of preparing undercoat composition and undercoat [10].
- A method of processing the surface of non-ferrous metal by forming microrelief [11].
- A method to obtain amorphous nanostructures diamond-like coating [12].
- A method of electrochemical obtaining nanosize graphite plates. [13].
- A method of combined treatment of channels of complex shape and a device to perform it [14].
- A method to modify concrete with complex additive which includes hydrothermal nanoparticles  $\text{SiO}_2$  and multilayer carbon nanotubes [15].
- A sol with the content of titanium dioxide, a method to obtain it and the products made of it [16].
- Optically transparent luminous nanostructured ceramic material [17].

- Ferroelectric nanocomposite on the basis of porous glass and monopotassium phosphate materials [18].
- A field-emission emitter with nanocrystal diamond film [19].
- Multifunctional nanostructured additive for coatings [20].
- A porous material on the basis of polyester [21].
- A method of precipitation of composite coating [22].
- Low-temperature ecology-friendly viscous lubrication and a method to produce it [23].

## CONCLUSION

One of the most challenging tasks the economy of every country face is to increase industrial competitiveness through technological upgrade. From the side of the state and companies the principal object to control in this process are the people and enterprises dealing with introduction of inventions and new technologies. Therefore, we hope that the information published in this section will be in demand and useful for specialists.

*To be continued.*

## REFERENCES

1. Snezhkova Yu.Yu., Blinov A.V., Golik A.B. et al. A composition on the basis of oxide nanostructures to provide surface with superhydrophobic properties. RF Patent 2763891. 2022-01-11.
2. Vinogradova P.V., Manzhula I.S. A composite heat-conducting material on the basis of nanoliquid. RF Patent 2764219. 2022-01-14.
3. Tsyganov A.R., Gorokhovsky A.V. A nanocomposite material on the basis of potassium titanate. RF Patent 2766089. 2022-02-07.
4. Mikheev V.E., Vorozhtsov A.B., Lerner M.I. et al. A biocide composition and a method to obtain it. RF Patent 2763930. 2022-01-11.
5. Vishnyakov S.R., Gavrish V.M., Vinogradsky S.S., Khikmatulloev R.I. A method of obtaining nanodispersed powders. RF Patent 2763814. 2022-01-11.
6. Makinini R.D., Galabura Yu., Carriglio O., Antonio Kh. et al. Polymer material. RF Patent 2765293. 2022-01-28.
7. Sykchin A.S., Vepreva A.I., Spirov I.V. et al. Hybrid supercondenser on the basis of nanosize nickel hydroxide. RF Patent 2763028. 2021-12-27.
8. Ageev E.V., Ageeva E.V., Sabelnikov B.N. A method of obtaining tungstenless hard-alloy powder materials in distilled water. RF Patent 2763431. 2022-12-29.
9. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Borisova O.N. Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part I. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 18-26. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-18-26.10>.
10. Predtechensky M.R., Chebochakov D.S., Shilyaev G.E. An undercoat composition for creation of light conductive coating of the detail prior to electrostatic painting, a method of preparing undercoat composition and undercoat. RF Patent 2765132. 2022-01-25.
11. Zheleznov V.Yu., Malinsky T.V., Mikolutsky S.I. et al. A method of processing the surface of non-ferrous metal by forming microrelief. RF Patent 2764777. 2022-01-21.
12. Ivanov L.A., Xu L.D., Razumeev K.E., Pisarenko Zh.V., Demenev A.V. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part VI. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(6): 370–378. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378.13>.
13. Rukhov A.V., Bakunin E.S., Obraztsova E.Yu. et al. A method of electrochemical obtaining nanosize graphite plates. RF Patent 2763535. 2021-12-30.
14. Trifanov I.V., Melkozerov M.G., Trifanov V.I. A method of combined treatment of channels of complex shape and a device to perform it. RF Patent 2764538. 2022-01-18.
15. Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Nguyen C.T., Muminova S.R. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part IV. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 242–251. Available from: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-242-251>.
16. Bekker R., Tide T., Galbarchik N., Bohnen Z. A sol with the content of titanium dioxide, a method to obtain it and the products made of it. RF Patent 2763729. 2021-12-30.
17. Kiryakov A.N., Zatsepin A.F., Dyachkova T.V., Tyutyunnik A.P. Optically transparent luminous nanostructured ceramic material. RF Patent 2763148. 2021-07-05.

18. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part I. Nanotechnologies in Construction. 2021; 13(1): 23–31. Available from: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-13-1-23-31>.
19. Vikharev A.L., Ivanov O.A., Yashanin I.B. A field-emission emitter with nanocrystal diamond film. RF Patent 2763046. 2021-12-27.
20. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R. Nanotechnologies: are view of inventions and utility models. Part V. Nanotechnologies in Construction. 2020; 12(6): 331–338. Available from: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338>.
21. Makinini R.G., Xue Yu. A porous material on the basis of polyester. RF Patent 2761619. 2021-12-13.
22. Mamontova Yu.E., Stekolnikov Yu.A. A method of precipitation of composite coating. RF Patent 2761573. 2021-03-01.
23. Tonkonogov B.P., Kilyakova A.Yu., Safieva R.Z. et al. Low-temperature ecology-friendly viscous lubrication and a method to produce it. RF Patent 2713451. 2020-02-05.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Leonid A. Ivanov** – Cand. Sci. (Eng.), Vice President of the Russian Academy of Engineering, Member of the International Journalist Federation; Moscow, Russia, L.a.ivanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9513-8712>

**Li D. Xu** – Ph.D., Prof., Old Dominion University, of Information Technologies & Decision Sciences Department; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Norfolk, Virginia, USA, LXu@odu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-3263-5217>

**Svetlana R. Muminova** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, srmuminova@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5236-607X>

**Valentina M. Feoktistova** – Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Educational Computer Center, Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, Russia, vfeoktistova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8880-8941>

**Elena V. Romanova** – Cand. Sci. (Psychology), Associated Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Associated Professor of the Department of Social, Psychological and Legal Communications, Moscow, Russia, romanova\_e\_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0225-6435>

#### CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

**The authors declare no conflicts of interests.**

The article was submitted 25.02.2022; approved after reviewing 28.03.2022; accepted for publication 04.04.2022.

Обзорная статья

УДК 608: 69.001.5

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-105-112>

CC BY 4.0

## Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть II<sup>1)</sup>

Леонид Алексеевич Иванов<sup>1\*</sup> , Ли Да Сюй<sup>2</sup> , Светлана Рашидовна Муминова<sup>3</sup> ,  
Валентина Михайловна Феоктистова<sup>4</sup> , Елена Валерьевна Романова<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Российская инженерная академия, Москва, Россия

<sup>2</sup> Университет Олд Доминион, Норфолк, Вирджиния, США

<sup>3</sup> Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

<sup>4</sup> Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Россия

<sup>5</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: L.a.ivanov@mail.ru

**РЕЗЮМЕ: Введение.** Высокие технологии поражают воображение людей, демонстрируя все новые и новые достижения (материалы, способы, системы, технологии, устройства и др.), кардинально меняющие окружающий мир. Это, прежде всего, можно отнести к изобретениям ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. **Основная часть.** В статье в реферативной форме проводится обзор изобретений ученых, инженеров и специалистов из разных стран: Германии, России, США и др. Результаты творческой деятельности ученых, инженеров и специалистов, в т.ч. и изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов позволяют при их внедрении добиться значительного эффекта в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, смежных отраслях экономики. Например, задача, на решение которой направлено изобретение «Композиция на основе оксидных наноструктур для придания поверхности супергидрофобных свойств», заключается в разработке нового способа получения материалов с супергидрофобными свойствами, обладающих повышенными эксплуатационными и функциональными характеристиками, которые найдут широкое применение в различных областях: в энергетике, электронике, машиностроении, строительстве, судостроительстве, авиационной и аэрокосмической, а также пищевой промышленности. Особенностью изобретения является проявление покрытиями супергидрофобных свойств и, как следствие, при их нанесении предотвращение обледенения и загрязнения металлических изделий, например, линий электропередач, фермовых конструкций, крыши и других. Технический результат достигается с помощью использования композиции на основе оксидных наноструктур для придания поверхности супергидрофобных свойств, содержащей тетраэтоксисилан и тетраизопропилат титана как структурообразователи, гексаметилдисилазан как гидрофобный компонент, изопропиловый спирт как растворитель, несферический нанокристаллический диоксид титана с размерами частиц от 10 до 50 нм как интенсификатор процесса роста анизотропных структур для формирования определенной шероховатости покрытия. Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: композиционный теплопроводящий материал на основе наножидкости, нанокомпозитный материал на основе титаната калия, способ получения нанодисперсных порошков, гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля и др. **Заключение.** Одна из актуальных задач экономики любой страны – повышение конкурентоспособности промышленности за счет ее технологического переоснащения. И в этом направлении главным объектом внимания со стороны государства и компаний становятся люди или предприятия, чья основная работа связана с изобретением и внедрением новых технологий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нанотехнологии в строительстве, нанокристаллический диоксид титана, наноструктура, наножидкость, нанодисперсный порошок, наноразмерная частица.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Муминова С.Р., Феоктистова В.М., Романова Е.В. Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 105–112. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-105-112>.

### ВВЕДЕНИЕ

Высокие технологии поражают воображение людей, демонстрируя все новые и новые дости-

жения (материалы, способы, системы, технологии, устройства и др.), кардинально меняющие окружающий мир. Это, прежде всего, можно отнести к изобретениям ученых, инженеров и специалистов

<sup>1)</sup> Продолжение. Часть I опубликована в журнале «Нанотехнологии в строительстве». 2022. Т. 14. № 1.

© Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Муминова С.Р., Феоктистова В.М., Романова Е.В., 2022

из разных стран (Германии, России, США и др.) в области нанотехнологий.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Композиция на основе оксидныхnanoструктур для придания поверхности супергидрофобных свойств (RU 2763891 C1)

Изменение климата за последние десятилетия привело к увеличению количества различных областей и территорий со значительными суточными перепадами температур. Это, в свою очередь, способствовало учащению случаев обледенения и загрязнения изделий, конструкций и сооружений различной природы (металлических, стеклянных, деревянных и других), например, линий электропередач, фермовых конструкций, крыш и других. При небольшом морозе, в условиях мягкой зимы, на поверхность материалов и изделий оседают капельки тумана или дождя, которые, замерзая, формируют плотную ледяную «шубу». В результате, например, провода рвутся, а опоры линий электропередач ломаются.

Супергидрофобность – уникальное свойство материалов, характеризующееся полной несмачиваемостью поверхности жидкостями. В настоящее время сделаны первые шаги в разработке композиции на основе оксидных nanoструктур для придания супергидрофобных свойств различным поверхностям. Данные покрытия обладают уникальными физико-химическими и структурно-механическими свойствами, поэтому разработка материалов с супергидрофобными свойствами и их применение в промышленности и повседневной жизни является актуальным вопросом.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в разработке нового способа получения материалов с супергидрофобными свойствами, обладающих повышенными эксплуатационными и функциональными характеристиками, которые найдут широкое применение в различных областях: в энергетике, электронике, машиностроении, строительстве, судостроительстве, авиационной и аэрокосмической, а также пищевой промышленности. Особенностью изобретения является проявление покрытиями супергидрофобных свойств и, как следствие, при их нанесении предотвращение обледенения и загрязнения металлических изделий, например, линий электропередач, фермовых конструкций, крыш и других [1].

Технический результат достигается с помощью использования композиции на основе оксидных nanoструктур для придания поверхности супергидрофобных свойств, содержащей тетраэтоксисилан и те-

траизопропилат титана как структурообразователи, гексаметилдисилазан как гидрофобный компонент, изопропиловый спирт как растворитель, несферический нанокристаллический диоксид титана с размерами частиц от 10 до 50 нм как интенсификатор процесса роста анизотропных структур для формирования определенной шероховатости покрытия, при следующих соотношениях компонентов в % (масс.): тетраэтоксисилан – 1–10, тетраизопропилат титана – 1–15, гексаметилдисилазан – 2–10, нанокристаллический диоксид титана – 0,01–1, изопропиловый спирт – остальное.

### Композиционный теплопроводящий материал на основе наножидкости (RU 2764219 C1)

С развитием энергонасыщенных электронных технологий возникает необходимость создания эффективных систем охлаждения и управления большими тепловыми потоками. Один из способов провести интенсификацию теплообмена – улучшить теплофизические характеристики теплоносителя. Этого можно добиться, повысив теплопроводность жидкости путем добавления твердых частиц с высокой теплопроводностью. При этом наряду с теплопроводностью изменяются и другие теплофизические свойства жидкости. Важной характеристикой при использовании проточных систем охлаждения является вязкость охлаждающей субстанции.

Настоящее изобретение относится к теплопроводным пастам, содержащим смесь синтетического и силиконового масел и смесь теплопроводных наполнителей. Композиционный теплопроводящий материал на основе наножидкости может быть использован в качестве теплоносителя для создания новых теплоэнергетических установок, тепловых межфазных материалов (МТВ). Изобретение представляет собой многокомпонентную гетерогенную систему, наполненную мелкодисперсными агломератами частиц, обладающими различной структурой, теплопроводящими свойствами, диэлектрическими и механическими свойствами при определенных качественных соотношениях между компонентами, а также технологическими особенностями их соединения [2].

Задачей настоящего изобретения является расширение диапазона рабочих температур и увеличение теплопроводности, что заключается в создании теплопроводящего компаунда на основе наножидкости, предназначенного для технических изделий и систем, при работе которых требуется осуществлять эффективный отвод избыточной тепловой энергии. Компаунд должен сочетать в себе следующие качественные характеристики:

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

- оптимальный диапазон рабочих температур для более широкого применения в различных электронных устройствах от  $-50$  до  $200^{\circ}\text{C}$ ;
- теплопроводность  $9 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- плотность  $3,5 \text{ г}/\text{см}^3$ ;
- динамическую вязкость  $900 \text{ П}$ ;
- нормативный срок службы 5 лет.

В результате исследований было определено необходимое количество нанопорошка теплопроводного носителя (порядка  $20\% \pm 0,07$ ). При этом паста имеет в нормальных условиях вазелиноподобную консистенцию. При содержании в смеси нанопорошка теплопроводного носителя более  $20\% \pm 0,07$  паста утрачивает свое вазелиноподобное состояние, приобретает рассыпчатую структуру и становится непригодной для нанесения.

Технический результат — улучшение теплопроводности и динамической вязкости получаемого материала.

**Нанокомпозитный материал на основе титаната калия (RU 2766089 С1)**

Задачей настоящего изобретения является получение нового вида порошка титаната калия, состоящего из чешуйчатых частиц субмикронного размера, которые декорированы наноразмерными частицами трехкомпонентного слоистого двойного гидроксида. Техническим результатом, достигаемым при решении поставленной задачи, является улучшение комплекса трибологических свойств порошка титаната калия, проявляющееся в снижении коэффициента трения, увеличении износостойкости трущихся поверхностей и увеличении критической нагрузки и нагрузки сваривания при использовании смазочных композиций, содержащих данный вид порошка в качестве добавки [3]. Указанный технический результат достигается тем, что в модифицированном порошке титаната калия, состоящем из слоистых частиц чешуйчатой формы субмикронного размера, согласно изобретению, частицы титаната калия декорированы наноразмерными частицами карбонатной формы слоистого гидроксида, содержащего Cu, Zn и Al, в котором мольное соотношение указанных металлов составляет  $1:1:1$  с возможным отклонением в содержании каждого из компонентов не более чем на  $10\%$ . Целесообразно также использовать частицы нанокомпозитного материала, обработанные поверхностью-активным веществом. Целесообразно в качестве поверхностью-активного вещества использовать неионогенное поверхностью-активное вещество.

Формирование модифицированного слоя на поверхности трущихся деталей в присутствии добавок частиц ПТК/СДГ, а также заполнение ими неровностей поверхности предотвращает прямой контакт

деталей трибосопряжений. Вследствие этого повышаются не только атифрикционные, но и противоизносные и противозадирные (нагрузочные) свойства смазочных материалов. При этом антифрикционные свойства синтезированных порошков модифицированного ПТК определяются также и их слоистой структурой и низким значением собственного коэффициента трения. В то же время трибохимическое взаимодействие частиц ПТК с поверхностью стали приводит к внедрению титана в поверхностный слой металла, приводящему к увеличению его микротвердости и износостойкости, аналогично действию добавок чистого порошка ПТК. Присутствие алюминия в составе модифицированного порошка политетаната калия, согласно заявляемому техническому решению, способствует формированию на трущихся поверхностях стали участков, покрытых пленкой оксида алюминия, которая способствует не только повышению микротвердости (износостойкости) поверхности стали, но и препятствует свариванию под нагрузкой (происходит увеличение нагрузки сваривания).

Изобретение относится к химической, автомобильной, машиностроительной и текстильной промышленности и может быть использовано при изготовлении антифрикционных добавок к смазочным материалам для узлов трения качения и скольжения.

**Биоцидная композиция и способ ее получения (RU 2763930 С1)**

Техническим результатом заявленного изобретения является получение биоцидной композиции для использования в качестве антимикробной добавки в краски и полимерные материалы с целью усиления антимикробного эффекта за счет содержания в композиции наночастиц оксида цинка, вызывающих повреждение белковой структуры бактерий и их гибель [4]. Поставленная задача решается тем, что биоцидная композиция состоит из наночастиц оксида цинка, гомогенно распределенных в растворителе, отличающаяся тем, что используют наночастицы оксида цинка размером  $80 \pm 10 \text{ нм}$  и удельной поверхностью  $10 \pm 2 \text{ м}^2/\text{г}$ , с дополнительным содержанием стабилизатора наночастиц, выбранного из группы, включающей поликарбоксилат, поливинилпирролидон, 2-амино-2-метил-1-пропанол, 8-оксихинолин, фенантролин, дипиридил или их комбинацию, при следующем соотношении компонентов, мас.%:

- наночастицы ZnO 30–50;
- стабилизатор наночастиц 2,0–4,0;
- растворитель 46–68.

Для совмещения биоцидной композиции с термопластичным полимером (полиметилметакрилат и сополимеры, полилактид, полиэтилен низкой

## ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

плотности, полипропилен, полистирол и другие) применяется высушенная композиция. Для этого обработанные наночастицы отделяют от растворителя и высушивают в сушильном шкафу при температуре 90–100°C в течение 5 ч.

В качестве стабилизатора в заявлении способе используют, по крайней мере, одно вещество, выбранное из ряда: поликарбоксилат, поливинилпирролидон, 2-амино-2-метил-1-пропанол, 8-оксихинолин, фенантролин, дипиридил или их комбинации. Эти органические соединения удовлетворяют требованиям, предъявляемым к лигандам для поверхностной обработки наночастиц оксида цинка. Они содержат в своем составе атомы азота и кислорода или только кислорода, положение атомов азота и кислорода относительно друг друга фиксировано, что определяет сильное взаимодействие органической молекулы и катиона металла.

**Способ получения нанодисперсных порошков (RU 2763814 C1)**

Изобретение относится к порошковой металлургии, а именно к получению нанодисперсных вольфрамсодержащих порошков, используемых при изготовлении твердых сплавов на основе вольфрама. Техническим результатом настоящего изобретения является получение нанодисперсных порошков, содержащих вольфрам или карбид вольфрама, из изделий и отходов изделий, изготовленных из твердых сплавов, таких как ТТК, ВНЖ, ТК, ВК и подобных, с высокой технологичностью и производительностью, малым энергопотреблением и возможностью утилизации твердосплавных отходов. Для получения нанодисперсных порошков используют универсальное оборудование простой конструкции, безопасное в использовании, с высоким ресурсом работы. Синтез нанодисперсных порошков может быть осуществлен при комнатной температуре. На выходе могут быть получены высококачественные нанодисперсные порошки вольфрама, карбида вольфрама, смеси карбидов вольфрама и титана, карбидов вольфрама, титана и tantalа, а также других соединений, составляющих основу перерабатываемых металлических отходов [5].

Технический результат изобретения достигается тем, что для получения вольфрамсодержащих нанодисперсных порошков в герметичный реактор, имеющий угол наклона к оси вращения от 0 до 90 градусов, загружают изделия и/или отходы из твердых сплавов и заливают диспергирующую жидкость, имеющую pH 1–4. Диспергирующая жидкость включает водный раствор  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  с концентрацией 5–30 г/л, серную кислоту и микроорганизмы *Thiobacillus ferrooxidans*. Синтез нанодисперсных порошков про-

водят при соотношении твердой и жидкой фазы Т:Ж, равном 1:(1–7). Осуществляют непрерывное вращение реактора со скоростью 2–60 оборотов в минуту при температуре 16–35°C в течение 480–600 ч. Затем пульпу отстаивают, раствор сливают, полученный осадок промывают, сушат и просеивают.

Вращающийся герметичный реактор может быть выполнен в виде барабана круглого или многогранного сечения, или в виде бикуба, или биконуса, или V-образным. На рис. 1 изображено устройство для получения нанодисперсных порошков, с рабочим органом в форме биконуса. В качестве твердых сплавов используют такие сплавы, как ТТК, ВНЖ, ТК, ВК. При вращении корпуса происходит перемещение диспергирующей жидкости и твердосплавных изделий и/или отходов. При этом в установке происходит одновременно механическое истирание, химическая и бактериальная обработка металла твердосплавных изделий и/или отходов.

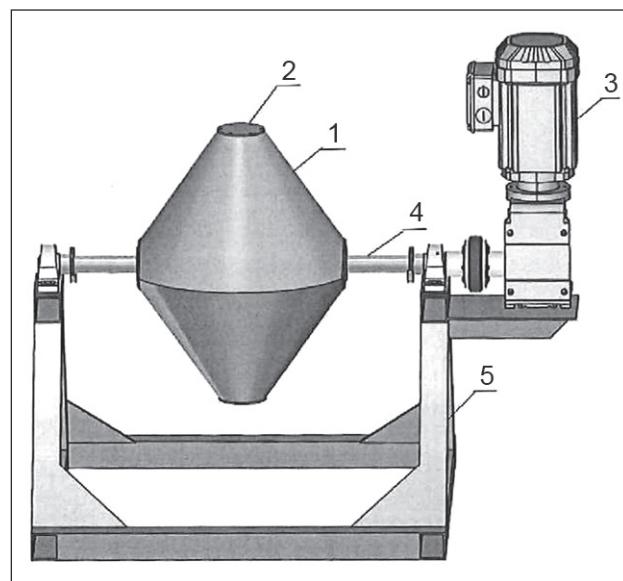


Рис. 1 Устройство для получения нанодисперсных порошков, с рабочим органом в форме биконуса: 1 – сварной корпус, выполненный из нержавеющей стали в виде биконуса; 2 – загрузочное устройство; 3 – двигатель; 4 – вал; 5 – станина

**Полимерный материал (RU 2765293 C2)**

Изобретение имеет отношение к полимерному материалу для изготовления волокна, пленки или впитывающего изделия, к волокну, нетканому полотну и впитывающему изделию, которые включают указанный полимерный материал, а также к способам образования полимерного материала и волокна. Полимерный материал содержит термопластичную композицию. Композиция содержит непрерывную

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

фазу, которая включает матричный полимер и силоксановый компонент. Силоксановый компонент содержит сверхвысокомолекулярный силоксановый полимер, который диспергирован в непрерывной фазе в форме дискретных доменов. В термопластичной композиции определена поровая сеть, которая включает множество нанопор. Силоксановый полимер характеризуется средневесовой молекулярной массой, составляющей приблизительно 100 000 г/моль или больше. Матричный полимер включает сложный полизэфир или полиолефин. Технический результат – получение улучшенного полимерного материала, который является пористым [6].

В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения раскрыт полимерный материал (например, волокно, пленка, формованное изделие и т.д.), который содержит термопластичную композицию. Композиция содержит непрерывную фазу, которая включает матричный полимер и силоксановый компонент. Силоксановый компонент содержит сверхвысокомолекулярный силоксановый полимер, который диспергирован в непрерывной фазе в форме дискретных доменов. В термопластичной композиции определена поровая сеть, которая включает множество нанопор.

В общем, настоящее изобретение направлено на полимерный материал (например, пленку, волокнистый материал, формованное изделие и т.д.), который образован посредством вытягивания термопластичной композиции (например, вытягивания в твердом состоянии), содержащей непрерывную фазу, которая включает матричный полимер и силоксановый компонент.

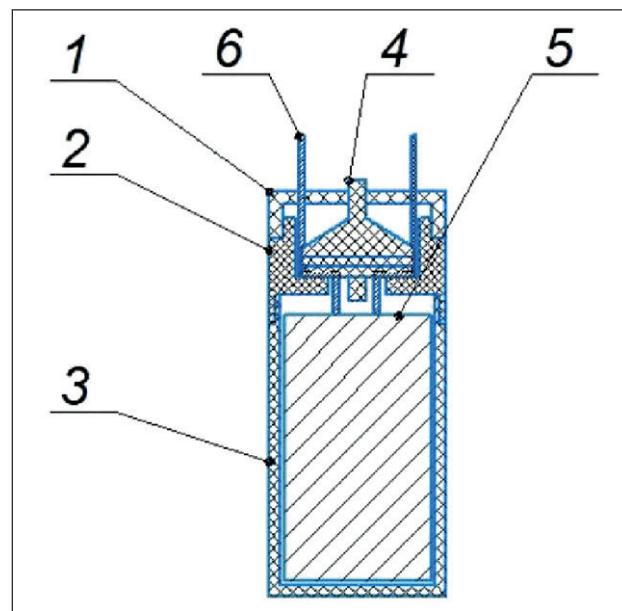
**Гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля (RU 2763028 C1)**

Заявленное техническое решение относится к области электротехники и электрохимии. Оно может быть применено в портативной электронике, в качестве стартера для автомобиля, в источниках бесперебойного питания, фотовспышках, медицинской технике. Среди гидроксидов металлов гидроксид никеля является широко используемым материалом для аккумуляторов и суперконденсаторов из-за многослойной структуры с большим межслоевым расстоянием, относительной безвредности для окружающей среды, высокой теоретической емкости, отличных электрохимических свойств, стабильности, низкой себестоимости и легкой доступности. Для повышения удельной емкости используют различные методы синтеза. Высокопористая структура, высокая удельная площадь поверхности улучшают электрохимические свойства за счет более быстрой

и легкой диффузии электролита на активных участках и большего использования массы. Существуют способы управлять свойствами полученного гидроксида, такие как изменение его структуры при синтезе, а также допиривание его различными добавками (cobальт, алюминий, цинк и т.д.), давая возможность значительно улучшить свойства получаемого гидроксида и его электрохимическую емкость.

Технический результат заявленного изобретения достигается тем, что гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля состоит из пластикового корпуса (рис. 2), включающего крышку, держатель клапана и стакан, в котором размещены два электрода, причем один электрод изготовлен из наноуглеродного материала, другой электрод изготовлен из гидроксида никеля, свернутых в рулон и разделенных сепаратором; две пеноникелевые подложки, к каждой из которых приварен никелевый токоотвод; клапан для сброса избыточного давления от выделяющихся газов, расположенный внутри корпуса; при этом внутрь корпуса залит 30% раствор гидроксида калия, растворенный в воде [7].

Крышка 1, держатель клапана 2 и стакан 3 напечатаны на 3D-принтере из акрил-бутадиен-стиролового пластика, устойчивого к воздействию щелочи. В сборе эти детали образуют цельный корпус гибридного суперконденсатора. Клапан для сброса избыточного давления 4 представляет собой промыш-



**Рис. 2. Гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля:** 1 – крышка; 2 – держатель клапана; 3 – стакан; 4 – клапан для сброса избыточного давления; 5 - рулонный блок электродов; 6 – никелевый токоотвод

ленно изготовленный клапан марки 7НН1103383-3. Он необходим в суперконденсаторе для сбора избыточного давления газов, которые выделяются при разложении водного электролита в случае превышения допустимого тока и напряжения, а также в случае избыточного перезаряда. Рулонный блок электродов 5 представляет собой два электрода, для каждого из которых в качестве подложки используют электрохимически активированный пеноникель. Первый электрод изготавливают из углеродного наноматериала, например, из «Таунит-М». Второй электрод изготавливают из гидроксида никеля с высокой удельной поверхностью и стабильными частицами. К пеноникелевой подложке приваривают никелевый токоотвод 6. Технический результат предлагаемого изобретения заключается в повышении емкостных характеристик гибридного суперконденсатора.

#### **Способ получения безвольфрамовых твердосплавных порошковых материалов в воде дистилированной (RU 2763431 С1)**

Изобретение относится к области порошковой металлургии, в частности к составам и способам получения порошка безвольфрамового твердого сплава, и может быть использовано для изготовления спеченных изделий, нанесения износостойких покрытий для восстановления и упрочнения деталей машин горно-металлургической промышленности, автомобильного и других видов транспорта [8].

На первом этапе производили сортировку отходов безвольфрамовых твердых сплавов, их промывку, сушку, обезжикивание и взвешивание. Реактор заполняли рабочей средой – водой дистиллиированной – отходы загружали в реактор. Монтировали электроды. Смонтированные электроды подключали к генератору. Устанавливали необходимые параметры процесса: частоту следования импульсов, напряжение на электродах, емкость конденсаторов.

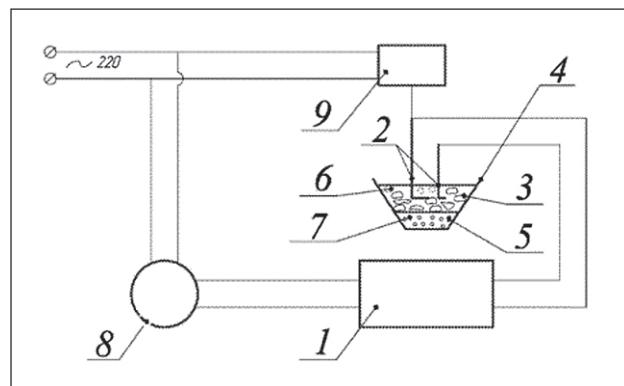
На втором этапе – этапе электроэррозионного диспергирования (ЭЭД) – включали установку (рис. 3). Импульсное напряжение генератора 1 прикладывается к электродам 2 и далее к отходам 3 (в качестве электродов так же служили соответственно отходы безвольфрамового твердого сплава марки КНТ16) в реакторе 4. При достижении напряжения определенной величины происходит электрический пробой рабочей среды 5, находящийся в межэлектродном пространстве, с образованием канала разряда. Благодаря высокой концентрации тепловой энергии, материал в точке разряда плавится и испаряется, рабочая среда испаряется и окружает канал разряда газообразными продуктами распада (газовым пузырем 6). В результате развивающихся в канале разряда

и газовом пузыре значительных динамических сил капли расплавленного материала выбрасываются за пределы зоны разряда в рабочую среду, окружающую электроды, и застывают в ней, образуя каплеобразные частицы порошка 7. Регулятор напряжения 8 предназначен для установки необходимых значений напряжения, а встраиватель 9 передвигает один электрод, что обеспечивает непрерывное протекание процесса ЭЭД.

На третьем этапе проводится выгрузка рабочей жидкости с порошковым материалом из реактора, отделение мелкодисперсных частиц от крупноразмерных с помощью центрифуги. При этом крупные частицы оседают под действием центробежных сил, а мелкодисперсные частицы остаются в растворе.

На четвертом этапе происходит выпаривание раствора, его сушка, взвешивание, фасовка, упаковка и последующий анализ порошкового материала.

При этом достигается следующий технический результат: получение порошковых материалов из отходов безвольфрамового твердого сплава с частицами правильной сферической формы с невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса способом электроэррозионного диспергирования (ЭЭД).



**Рис. 3. Процесс электроэррозионного диспергирования:** 1 – генератор; 2 – электроды; 3 – отходы; 4 – реактор; 5 – рабочая среда; 6 – канал разряда; 7 – каплеобразные частицы порошка; 8 – регулятор напряжения; 9 – встраиватель.

*Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:*

- Наномодифицированный строительный раствор [9].
- Грунтующий состав для создания светлого электропроводящего грунтующего покрытия детали перед электростатическим окрашиванием, способ приготовления грунтующего состава и грунтующее покрытие [10].

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

- Способ обработки поверхности цветного металла путем формирования микрорельефа [11].
- Способ получения аморфного наноструктурированного алмазоподобного покрытия [12].
- Способ электрохимического получения наноразмерных пластинок графита [13].
- Способ комбинированной обработки каналов сложной формы и устройство для его реализации [14].
- Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы  $\text{SiO}_2$  и многослойные углеродные нанотрубки [15].
- Содержащий диоксид титана золь, способ его получения и изготовленные из него продукты [16].
- Оптически прозрачный люминесцентный наноструктурный керамический материал [17].
- Сегнетоэлектрический нанокомпозитный материал на базе пористого стекла и материалов группы дигидрофосфата калия [18].
- Автоэмиссионный эмиттер с нанокристаллической алмазной пленкой [19].

- Многофункциональная наноструктурированная добавка к покрытиям [20].
- Пористый материал на основе сложного полизифира [21].
- Способ осаждения композиционного покрытия [22].
- Низкотемпературная экологичная пластичная смазка и способ ее получения [23].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одна из актуальных задач экономики любой страны – повышение конкурентоспособности промышленности за счет ее технологического переоснащения. И в этом направлении главным объектом внимания со стороны государства и компаний становятся люди или предприятия, чья основная работа связана с внедрением новых технологий. Поэтому надеемся, что публикуемая в данной рубрике информация будет востребованной и полезной для специалистов.

*Продолжение следует.*

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Снежкова Ю.Ю., Блинов А.В., Голик А.Б. и др. Композиция на основе оксидных наноструктур для придания поверхности супергидрофобных свойств // Патент 2763891 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 2.
2. Виноградова П.В., Манжула И.С. Композиционный теплопроводящий материал на основе наножидкости // Патент 2764219 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 2.
3. Цыганов А.Р., Гороховский А.В. Нанокомпозитный материал на основе титаната калия // Патент 2766089 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 4.
4. Михеев В.Э., Ворожцов А.Б., Лerner M.I. и др. Биоцидная композиция и способ ее получения // Патент 2763930 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 2.
5. Вишняков С.Р., Гавриш В.М., Виноградский С.С., Хикматуллоев Р.И. Способ получения нанодисперсных порошков // Патент 2763814 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 2.
6. Макинини Р.Д., Галабура Ю., Каррильо О., Антонио Х. и др. Полимерный материал // Патент 2765293 РФ МПК C2. 2022. Бюл. № 4.
7. Сыкчин А.С., Вепрева А.И., Спиров И.В. и др. Гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля // Патент 2763028 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 36.
8. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Сабельников Б.Н. Способ получения безвольфрамовых твердосплавных порошковых материалов в воде дистилированной // Патент 2763431 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 1.
9. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Борисова О.Н. Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 18–26. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-18-26>.
10. Предтеченский М.Р., Чебочаков Д.С., Шиляев Г.Е. Грунтующий состав для создания светлого электропроводящего грунтующего покрытия детали перед электростатическим окрашиванием, способ приготовления грунтующего состава и грунтующее покрытие // Патент 2765132 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 3.
11. Железнов В.Ю., Малинский Т.В., Миколуцкий С.И. и др. Способ обработки поверхности цветного металла путем формирования микрорельефа // Патент 2764777 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 3.
12. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Разумеев К.Э., Писаренко Ж.В., Деменев А.В. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть VI // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 6. С. 370–378. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378>.

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

13. Рухов А.В., Бакунин Е.С., Образцова Е.Ю. и др. Способ электрохимического получения наноразмерных пластинок графита // Патент 2763535 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 1.
14. Трифанов И.В., Мелкозеров М.Г., Трифанов В.И. Способ комбинированной обработки каналов сложной формы и устройство для его реализации // Патент 2764538 РФ МПК C1. 2022. Бюл. № 2.
15. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Нгуен К.Т., Муминова С.Р. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть IV // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, № 4. С. 242–251. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-242-251>.
16. Беккер Р., Тиде Т., Гальбарчик Н., Боннен З. Содержащий диоксид титана золь, способ его получения и изготовленные из него продукты // Патент 2763729 РФ МПК C2. 2021. Бюл. № 1.
17. Киряков А.Н., Зацепин А.Ф., Дьячкова Т.В., Тютюнник А.П. Оптически прозрачный люминесцентныйnanoструктурный керамический материал // Патент 2763148 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 36.
18. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, № 1. С. 23–31. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31>.
19. Вихарев А.Л., Иванов О.А., Яшанин И.Б. Автоэмиссионный эмиттер с нанокристаллической алмазной пленкой // Патент 2763046 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 36.
20. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 6. С. 331–338. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338>.
21. Макинини Р. Дж., Сюй Ю. Пористый материал на основе сложного полиэфира // Патент 2761619 РФ МПК C2. 2021. Бюл. № 35.
22. Мамонтова Ю.Е., Стекольников Ю.А. Способ осаждения композиционного покрытия // Патент 2761573 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 34.
23. Тонконогов Б.П., Киликова А.Ю., Сафиева Р.З. и др. Низкотемпературная экологичная пластичная смазка и способ ее получения // Патент 2713451 РФ МПК C1. 2020. Бюл. № 4.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Иванов Леонид Алексеевич** – канд. техн. наук, вице-президент Российской инженерной академии, член Международной федерации журналистов, Москва, Россия, L.a.ivanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9513-8712>

**Сюй Ли Да** – д-р философии, профессор, Университет Олд Доминион, Отдел информационных технологий; Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), Норфолк, Вирджиния, США, LXu@odu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-3263-5217>

**Муминова Светлана Рашидовна** – канд. техн. наук, доцент, Департамент анализа данных и машинного обучения, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, srmuminova@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5236-607X>

**Феоктистова Валентина Михайловна** – канд. экон. наук, доцент, Высшая школа сервиса, Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Россия, vfeoktistova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8880-8941>

**Романова Елена Валерьевна** – канд. психол. наук, доцент, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), доцент кафедры социальных, психологических и правовых коммуникаций, Москва, Россия, romanova\_e\_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0225-6435>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Статья поступила в редакцию 25.02.2022; одобрена после рецензирования 28.03.2022; принятая к публикации 04.04.2022.

# WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Wuhan University of Technology (hereafter referred to as WUT) is a national key university under the direct administration of the Ministry of Education. It is one of the first batch of universities which have entered the national “211 Project” and the national “Double-Top” Plan for Promoting the Development of World-class Universities and Disciplines. WUT is jointly constructed by the Ministry of Education and the Ministry of Transport. It is also the largest university inside the Ministry of Education in talents cultivation for building materials, transportation and automobile, WUT has become an important base for the cultivation of high-level scientific talents and technological innovation for the three major industrial sectors.

The University has three main campuses, namely, the Mafangshan Campus, the Yujiatou Campus and the South Lake Campus, with a total occupying land area of 267 hectares. Currently, WUT has over 5,400 staff and faculty members, over 36,000 undergraduates, over 18,000 postgraduates and Ph.D. students and about 1,700 international students. It owns 25 academic schools, 4 National Technology Innovation Bases and 4 modern libraries with a collection of 3.2953 million books. Since 2000, WUT has been awarded 23 National Science and Technology prizes, ranking in the forefront of all Chinese colleges and universities. In 2019, WUT was listed in Times Higher Education World University Rankings, QS Asia University Rankings, U.S. News Best Global Universities Rankings and ShanghaiRanking's Academic Ranking of World Universities.

Since the funding of New China, WUT has cultivated more than 600,000 senior professionals. Over the past decade, the first-time employment rate of graduates has remained above 95%, and about 55% of total employed graduates join the world's Top 500 enterprises and emerging industries.

Over the years, WUT has made rapid development by following the spirit of “Sound in Morality, Broad in Learning and Pursuing Excellence”; and the principle of “Take the students' cultivation as our essence, and take academic development as our priority”; The university focuses on the lofty ideal of building an excellent university to win worldwide recognition and admiration and

exercises the educational concept of “implementing excellent education, nurturing excellent talents and creating an excellent life”. Guided by the WUT Charter approved by the Ministry of Education, WUT is committed to the modernization of the governance system and capability, aiming to rank among the world-class universities with distinctive features.

## Introduction to MSE Discipline of Wuhan University of Technology

### 1. Briefs of WUT's MSE

Founded in 1958, the Materials Science & Engineering (MSE) discipline of Wuhan University of Technology (WUT) was supported in priority through the “State 211 Project for Higher Education Universities” from 1995 to 2015, and has been supported via the “World-Class University & World-Class Discipline” development plan of China since 2016. WUT's MSE ranks A+ among 172 leading universities in China (No.1 alongside MSEs of Tsinghua University and Beihang University) in the 4th round national discipline evaluation organized by the Ministry of Education in 2017, and is world top 1% in Clarivate Analytics' Essential Science Indicators.

WUT's MSE owns 1 member of Chinese Academy of Sciences, 3 members of Chinese Academy of Engineering, 3 members of Academia Europaea, 1 member of the Royal Academy of Belgium, 1 member of the World Academy of Ceramics, 1 fellow of the Australian Academy of Technology and Engineering, 10 fellows of the Royal Society of Chemistry, American Physics Society and American Ceramic Society. It also owns 23 national high-level talents including recipients of the National Natural Science Foundation of China for Distinguished Young Scholars (equal of NSF Career Awards), and 22 national high-level young talents.

WUT's MSE has established 2 state key laboratories, the State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing and the State Key Laboratory of Silicate Materials for Architectures. The State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing was evaluated “Excel-



lence” among 21 state key laboratories in MSE in 2018. It also has built 2 state international joint-research laboratories, and 4 bases of foreign outstanding expertise-introduction for discipline innovation (also known as “111 Project”).

## 2. Representative Achievements and Academics

Targeting the frontiers of global science and technology, and striving to fulfill the significant needs of the country, WUT’s MSE has invested 1.25 billion RMB (190 million USD) in the past 5 years in 6 primary research areas, including green manufacturing of environmentally friendly building materials, key materials serving in extreme environments, high-performance energy conversion and storage materials, and frontiers of interdisciplinary materials science. The representative achievements and academics during 2016–2020 are briefed as follows:

(1) WUT’s MSE has been granted over 330 national key projects, with a total fund of 1.2 billion RMB (185 million USD).

(2) WUT’s MSE has won 5 national science and technology awards, and has published over 4000 papers, including 3 in Nature, 1 in Science, 46 in the sister journals of Nature, Science and Cell, 69 in Advanced Materials. Among these publications, 229 are highly cited or hot papers.

(3) Prof. Qingjie Zhang was elected as member of Chinese Academy of Sciences in 2017. Prof. Lianmeng Zhang was elected as member of Chinese Academy of Engineering in 2017. Prof. Zhengyi Fu was elected as member of Chinese Academy of Engineering in 2021. Profs. Liqiang Mai, Pei Cheng and Shaowen Cao were listed as Highly Cited Researchers by Clarivate Analytics in 2020.

## 3. Talents Cultivation and Representative Graduates

WUT’s MSE aims at cultivating top-notch creative talents with exceptional pursuit and ability, international vision to lead the future development of materials science and materials industry. Currently, there are 5418 students in WUT’s MSE, among which 673 are PhD students and 2289 are master students.

Prof. Ce-Wen Nan, PhD graduate in 1992, was elected as member of Chinese Academy of Sciences in 2011, is now director of Research Institute of MSE in Tsinghua University. Dr. ShouPeng, graduate in 1982, was elected as member of Chinese Academy of Engineering in 2019, is now chairman of the Advisory Committee of International Commission on Glass. Prof. Yi-Bing Cheng, graduate in 1983, was elected as fellow of the Australian Academy of Technology and Engineering in 2007. Prof. James ZhijianShen, graduate in 1978 and professor of Department of Materials and Environmental Chemistry at Stockholm University, was elected as member of the World Academy of Ceramics in 2017. Dr. Yuxian Zhou, graduate in 2003, is the president of China National Building Materials Group Corporation, a leading company in materials industry that ranks No. 187 in Fortune Global 500 in 2020. Dr. Yeqing Li, graduate in 1984, is the president of Huaxin Cement Co., Ltd., cradle of the Chinese cement industry.

## 4. Domestic and International Impacts

Prof. Qingjie Zhang, a member of Chinese Academy of Sciences, has been selected as member of the 1st National Basic Research Strategy Advisory Committee of the Ministry of Science and Technology since 2020, and panel chair of Major Research Plan of Materials Science

of the National Natural Science Foundation of China since 2019.

Prof. Qingjie Zhang received the 2017 Frontiers of Science and Technology – Rustum Roy Lecture Award from the American Ceramic Society, in recognition of his contribution to global energy challenges and developments of thermoelectric materials and systems in China. Prof. Zhengyi Fu, member of Chinese Academy of Engineering, received the Samuel Geijsbeek PACRIM International Award in 2019, for his contribution in the field of ceramics technology that has resulted in significant industrial and academic impact, international advocacy, and visibility of the field. Prof. Liqiang Mai received the Research Excellence Award in the International Conference on Electrochemical Energy Science and Technology in 2018, for his contribution in advanced in-situ characterization of single-nanowire devices for energy storage and conversion. Asso. Prof. Wei Ji, received the 2019 Ross Coffin Purdy Award from the American Ceramic Society in recognition of his contribution to ceramic technical literature in 2017.

16 world-recognized scholars, including 3 Nobel Laureates, have been appointed Lecturing Professors by WUT's MSE since 2016. Faculty members in WUT's MSE have collaborated with these scholars and obtained 19 key international cooperation research projects, as well as published 256 joint research papers in top-level journals including Nature and Science.

WUT's MSE has organized 13 high-level international conferences. Together with MSE of Tsinghua University, WUT's MSE hosted the 1st World University Forum on Materials Science and Engineering Leadership in 2019, and announced <Wuhan Declaration for the 21<sup>st</sup> Century Materials Science and Engineering Sustainable Development>. The representatives of this forum include heads of MSE of Northwestern University, UC Berkeley, UC Los Angeles, UC Irvine, Pennsylvania State University, Georgia Institute of Technology, University of Washington, University of Texas at Austin, University of Central Florida, University of Birmingham, University of Surrey, University of Lorraine, Monash University, Tohoku University, Seoul National University, National University of Singapore, Tel-Aviv University, Indian Institute of Technology – BHU, etc. from 15 countries (USA, UK, France, Australia, Japan, Korea, Singapore, Israel, India, etc.), deans of top 50 MSE schools in China, and presidents of 5 world material research societies (American Ceramic Society, European Ceramic Society, Ceramic Society of Japan, Korean Ceramic Society, and Colombian Materials & Minerals Society).

### Overview of International School of Materials Science and Engineering

Driven by the great demand for national higher education reformation, the International School of Ma-



## World University Forum on Materials Science & Engineering Leadership 世界大学材料科学与工程领导论坛



terials Science and Engineering (hereafter referred to as ISMSE), WUT is aimed to building the top-notch innovative talent training base and knowledge innovation centre of Materials Science and Engineering. In April 2014, ISMSE was founded and approved by the Hubei Provincial Department of Education. In June 2015, ISMSE was selected into the list of the “Network of International Centers for Education” supported by the Ministry of Education of P. R. China and the Ministry of Science and Technology (former State Administration of Foreign Experts Affairs).

ISMSE is devoted to educate a unique class of professional leaders in materials science and engineering who can push the boundaries of knowledge and technology to serve the needs of the nation and the world by providing students with a comprehensive curriculum, which is academically rigorous and provides students with vital skills of critical thinking, communication, team work and continuous learning, and also by exposing all students to meaningful international experiences, including lectures by distinguished visiting professors from different countries, short term visits to high level international universities and continuous engagement activities with international students. ISMSE has established the first Material Advantage Chapter in China in 2016. The chapter has won the Chapter of Excellence Award four times from 2018 to 2021, among 102 chapters all over the world.

ISMSE builds the platforms for academic exchanges and interdisciplinary promotions. The World University Forum on Materials Science and Engineering Leadership was held in October 2019 in Wuhan. More than 50 chairs of MSE department around the world attended the forum. It was the first global MSE forum and to discuss relevant issues and devise a strategy that provided the global MSE community with a blueprint for the future, which was announced as <Wuhan Declaration>.

### State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing (Wuhan University of Technology)

The State Key Laboratory of Advanced Technology for Material Synthesis and Processing was approved by the State Development Planning Commission in 1987. After state inspection, it was opened for the public in March 1990. The laboratory is under the direct administration of the Ministry of Science and Technology. Currently, Professor GuBinglin, an academician of the Chinese Academy of Sciences, is the Chair of the laboratory's academic committee, and Professor Fu ZhengYi, an academician of the Chinese Academy of Engineering, is the Director of the laboratory. The laboratory is located in the Wuhan University of Technology, and it is a state key laboratory that specializes in the field of new materials. The Department of Materials Science and Engineering at the Wuhan University of Technology has been classified as a first-class State Key Discipline, included in the national “985” project of “Build a world-class discipline program,” and is ranked as A+ in the fourth round of national discipline evaluation. Aiming at the global frontier research of materials science and addressing the primary national needs, this laboratory provides a world-class platform for materials compounding and preparation technology, for developing advanced composite materials for national major projects and pillar industries, and for providing support at the national strategic level. Original and systematic research results, with international impact in transformative technologies, frontier new materials, and interdisciplinary fields, have been reported in this laboratory, and therefore, it leads the international development in several strategic frontier new materials. The laboratory fosters the development of global first-class research talent through advanced scientific research in the field of materials science and technology. In addition, the laboratory has

created a culture of international collaborative innovation and has carried out “Win-Win” international cooperative research, thereby enhancing the international influence, attractiveness, and cohesion of the laboratory. The laboratory has achieved a historic breakthrough in the evaluation of the State Key laboratories in the field of materials science.

Centering on the overall vision and objectives, the laboratory focuses on the establishment and development of multi-component, multi-scale, and multi-level composite principles and material design theories that are built on core research platforms comprising material gradient composite technology, in-situ composite technology, nanocomposite technology, and their integrated innovations. Currently, research on five key materials, including advanced composite materials for national major projects and pillar industries, efficient energy conversion and storage materials for new energy technologies, nanocomposite biomaterials for life sciences, information functional materials for information technology, and frontier new materials for transformative technologies, is being carried out in this laboratory. Therefore, the laboratory has established the following five distinctive research directions: gradient composite technology and new materials, in-situ composite technology and new materials, nanocomposite technology and new materials, transformative technology and frontier new materials, and material composite principles and material design.

The laboratory has an active and innovative research team that mainly comprise young and middle-aged researchers. There are hundred permanent staff members, including one academician of the Chinese Academy of Sciences, two academicians of the Chinese Academy of Engineering, one academician of the Royal Academies for Science and the Arts of Belgium, two academicians of the European Academy of Sciences and Arts, one academician of the Australian Academy of Technology and Engineering, one academician of the World Academy of Ceramics, twelve national level researchers, one chief scientist of the National “973” program, five recipients of the national “Outstanding Youth Science Fund,” and thirtyrecipients of the “national talent Support Plan”. etc. This laboratory has been actively supporting outstanding scholars to visit and conduct collaborative research worldwide in world-class universities and research institutions. In recent years, the laboratory has sent several outstanding young scholars to world-class international universities for more than one year to conduct visits and collaborative research.

The laboratory emphasizes global academic exchange and collaboration. In the last five years, we have hired twenty-five international scholars as honorary and visiting professors in the main research areas, with an aim to create cordial working conditions for world-renowned

scientists to conduct collaborative research in the laboratory.

The laboratory has carried out substantial “Win-Win” collaborations with the University of Michigan; Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA); the Institute for Materials Research, Tohoku University (Japan); the Materials Research Center, University of Oxford (UK); Composites Research Center, the University of California (US); and the National Institute of Fuel Cells (Canada), among other internationally renowned research institutions. The Ministry of Science and Technology has established the “International Joint Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing,” which is one of the first thirty-three international joint laboratories in China. Additionally, the State Administration of Foreign Experts Affairs and the Ministry of Education have jointly formed three discipline bases supported by the Program of Innovation and Talent Introduction, namely “New Material Composite Technology and Advanced Functional Materials,” “Advanced Preparation Technology and Application Engineering of New Functional Thin Film Materials,” and “Innovation and Talent Introduction Base of Life Composites.” Relying on these important international collaboration platforms, the laboratory has undertaken several state key projects with international collaborations and achieved fruitful results in international collaboration and exchanges.

Currently, the laboratory has a floor area of 25,350 square meters, with several advanced materials synthesis and processing instruments, as well as state-of-the-art instruments specializing in materials structure analysis, characterization, and performance testing. The total estimated value of the instrumentation asset is approximately 350.66 million RMB.

### Introduction to Interdisciplinary Materials

The new scientific journal *Interdisciplinary Materials* (ISSN: 2767-441X) has been launched by Wuhan University of Technology and John Wiley & Sons, Inc in Dec, 2021. The first issue will be published in Jan, 2022 and the journal is free for publication in the first 3 years.

*Interdisciplinary Materials* is an open-access, peer-reviewed, and rapid-publication journal focusing on the interdisciplinary researches between materials science and other disciplines, such as physics, chemistry, mathematics, mechanics, biology, energy, environment, information, engineering, etc. The journal aims at reporting cutting-edge developments across science and technology around the world.

*Interdisciplinary Materials* is expected to take an interdisciplinary, frontier, and integrated approach to all areas of materials research while cultivating the exchange



of ideas between scientists involved in the different disciplines. Readership will include physicists, chemists, mathematicians, mechanics, biologists, and energy, environment, materials scientists, engineers from academia and industry as well as policymakers.

Interdisciplinary Materials invites you to submit high-quality, innovative full-length research articles, rapid communications, reviews, perspectives, comments, and other editorial content of general interest to the field of interdisciplinary materials.

#### Contact information

Address: 122 Luoshi Road, Hongshan District, Wuhan, Hubei, P. R. China

Postal Code: 430070

Supporting Institution: Wuhan University of Technology

Tel: 86-27-87884448; Fax: 86-27-87879466

E-mail: [sklwut@whut.edu.cn](mailto:sklwut@whut.edu.cn)

Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

R

# УХАНЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Уханьский технологический университет (далее УТУ) – национальный стратегический университет под прямым управлением Министерства образования. Является одним из первых университетов, вошедших в государственные программы «211 Project» и »Double Top» для содействия развития университетов и дисциплин мирового уровня. УТУ был образован Министерством образования совместно с Министерством транспорта. Также является крупнейшим университетом при Министерстве образования по подготовке специалистов в области строительных материалов, транспорта и машиностроения. УТУ стал важным центром по выращиванию научно-технических кадров инновационных разработок для трех крупнейших сфер.

В университете расположены 3 кампуса – Мангшан, Юдзитау и СауфЛейк, в общей сложности занимающих площадь 267 гектаров. В настоящее время в УТУ работает более 5400 человек персонала и факультетских сотрудников, более 36 000 студентов, свыше 18 000 аспирантов и выпускников и около 1700 международных студентов. Университету принадлежит 25 академических школ, 4 национальных технологических инновационных центра и 4 современных библиотеки с фондом в 32 953 миллионов книг. С 2000 года УТУ удостоился 23 государственных научных и технических премий, занимая первые позиции в рейтинге всех китайских университетов и колледжей. В 2019 году УТУ был внесен в рейтинги Times Higher Education World University Rankings, QSA sia University Rankings, U.S. News Best Global Universities Rankings и Shanghai Ranking & Academic Ranking of World Universities.

С момента образования Нового Китая УТУ подготовил более 600 000 высокопрофессиональных специалистов. В течение последних десяти лет процент впервые трудоустроенных выпускников остается свыше 95% и составляет около 55% от всех трудоустроенных выпускников в международном рейтинге «Top 500 компаний и новых отраслей».

На протяжении многих лет УТУ прошел огромное развитие, следуя девизу «быть нравственно непоколебимым, разносторонним в учении, стремящимся к совершенству», а также принципу «сделать воспи-

тание студентов нашей сущностью, а академическое развитие – приоритетом». Университет фокусируется на высокой идеи развития непревзойденного университета для завоевания всемирного признания и восхищения и воплощает образовательную концепцию «внедрение отличного образования, воспитание первоклассных кадров и создание прекрасной жизни». Руководствуясь Хартией УТУ, утвержденной Министерством образования, УТУ вовлечен в модернизацию правительственной системы с целью занять свое место среди университетов мирового уровня с отличительными признаками.

## Знакомство с научным направлением материаловедения и инженерного дела в Уханьском технологическом университете

### Краткое описание

Основанное в 1958 году в УТУ научное направление «Материаловедение и инженерное дело» (МИД) приоритетно поддерживалось государственной программой «211 проектов для университетов» в период с 1995 по 2015 годы, а с 2016 года поддержка стала осуществляться через план развития КНР «Университеты и научные дисциплины мирового уровня». Рейтинг этого направления составляет A+ среди 172 ведущих университетов в Китае (№1 наравне с направлением в университетах Тцинхуаи Бейхан) в 4-ом раунде, организованном Министерством образования в 2017 году, а также входит в топовый международный 1% в системе Clarivate Analytics' Essential Science Indicators.

В МИД вовлечены: 1 член Китайской академии наук, 3 члена Китайской инженерной академии, 3 члена Европейской академии, 1 член Бельгийской королевской Академии, 1 член Международной академии керамики, 1 член Австралийской академии технологий и инженерии, 10 членов Королевского химического общества, Американского общества физики и Американского общества керамики. Данное направление также включает 23 китайских высокопрофессиональных сотрудника, некоторые из которых являются стипендиатами национального фонда



National Natural Science Foundation of China for Distinguished Young Scholars (аналогичен премии NSF Career Awards), и 22 китайских молодых специалиста.

Для содействия дисциплине были основаны 2 государственных лаборатории: Государственная стратегическая лаборатория передовых технологий для синтезирования и обработки материалов и Государственная стратегическая лаборатория силикатных материалов для архитектуры. Первая лаборатория получила оценку «превосходно» среди 21 государственных стратегических лабораторий по МИД в 2018 году. Помимо этого были построены 2 государственных международных лаборатории для совместных исследований и 4 базы внедрения зарубежных компетенций как инновационного составляющего научной области (известны как «111 Project»).

#### Значимые достижения и профессорско-преподавательский состав

Ставя целью покорить международную науку и технологии, а также желая удовлетворить масштабные потребности страны, за последние 5 лет инвестиции УТУ в рамках направления МИД составили 1,25 миллиардов юаней (190 миллионов долларов) в 6 основных областях исследований, таких как зеленое производство экологичных материалов, ключевые материалы, подверженные экстремальным условиям, высокопроизводительные энергопреобразующие и аккумулирующие материалы, а также в междисциплинарных областях материаловедения.

#### Репрезентативные достижения и профессорско-преподавательский состав за 2016–2020

Направление МИД получило гранты в более 330 национальных ключевых проектах, суммарное

финансирование составило 1,2 миллиардов юаней (185 миллионов долларов).

Направление МИД выиграло 5 национальных научных и технологических премий, было опубликовано свыше 4000 научных работ, 3 из которых в журнале Nature, 1 в Science, 46 в дочерних журналах Nature, Science и Cell, 69 – в Advanced Materials. Среди данных публикаций 229 – высоко цитируемые работы.

Проф. Циндзи Джан был избран в члены Китайской академии наук в 2017. Проф. Лианмен Джан был избран в члены Китайской инженерной академии в 2017. Проф. Дженги Фу был избран в члены Китайской инженерной академии в 2021. Проф. Лициан Май, Пэй Чанги Шаовен Цхао были признаны самыми цитируемыми исследователями в системе Clarivate Analytics в 2020.

#### Подготовка высококвалифицированных кадров и известные выпускники

Специальность МИД направлена на подготовку специалистов высшего класса с исключительными компетенциями и международным видением будущего развития материаловедения и индустрии материалов. В настоящий момент на данной специальности обучаются 5418 студентов WUT's MSE, среди которых 673 – аспиранты и 2289 – студенты магистратуры.

Проф. Цхе-Вен Нан, получивший степень кандидата наук в 1992, был избран членом Китайской академии наук в 2011, в настоящий момент является директором Исследовательского института МИД в Университете Тцинхуа. Д-р Шоу Пхант, выпускник 1982 года, был избран в члены Китайской инженерной академии в 2019, сейчас является председателем Консультативного комитета Меж-

дународной комиссии по стеклу. Проф. И-Бинг Чханг, выпускник 1983 года, был избран членом Австралийской академии технологий и инженерии в 2007 году. Проф. Джеймс Джидзиен Шен, выпускник 1978 года и профессор Департамента материалов и химии окружающей среды в Стокгольмском университете, был избран в члены Международной академии керамики в 2017 году. Д-р Юсиен Джоу, выпускник 2003 года, является президентом Китайского национального объединения строительных материалов, ведущей компании в индустрии материалов, занявшей 187 позицию в рейтинге Fortune Global 500 в 2020 году. Д-р Йецинг Ли, выпускник 1984 года, президент компании Huaxin Cement Co Ltd., являющейся, по сути, колыбелью китайской цементной индустрии.

### Внутренние и международные контакты

Проф. Циндзи Джан, член Китайской академии наук, является членом Первого национального базового исследовательского стратегического консультативного комитета министерства науки технологий с 2020 года и председателем комитета Главного исследовательского плана материаловедения национального фонда естественных наук Китая с 2019 года.

Проф. Циндзи Джан получил в 2017 году премию Frontiers of Science and Technology – Rustum Roy Lecture Award от Американского общества керамики в знак признания его вклада в решение глобальных вызовов по энергетике и разработок термоэлектрических материалов и систем в Китае. Проф. Дженги Фу, член Китайской инженерной академии, получил международный приз Samuel Geijsbeek PACRIM в 2019 году за свой вклад в область керамических технологий, которые оказывают значительное влияние на промышленность и научную сферу, а также международную популяризацию. Проф. Лишиан Май получила награду the Research Excellence на Международной конференции по электрохимической энергетике и технологиям в 2018 за свой вклад в перспективное локальное исследование однонанопроводных устройств для хранения и преобразования энергии. Доцент Вей Дзи получил в 2019 году награду Ross Coffin Purdy Award от Американского общества керамики за вклад в техническую литературу о керамике в 2017 г.

16 ученых с мировыми именами, включая 3 Нобелевских лауреата, стали профессорами специальности МИД в УТУ с 2016 г. Сотрудники факультета сотрудничали по программе МИД с указанными учеными и получили 19 ключевых международных совместных проектов, а также опубликовали 256 совместных научных работ в журналах высокого уровня, среди которых Nature и Science.

В рамках программы МИД были организованы 13 международных конференций высокого уровня. Совместно с Университетом Цинхуа по направлению МИД УТУ провел 1-ый Международный университетский форум по управлению материаловедением и инженерным делом в 2019 и анонсировал «Ухансскую декларацию 21 века по развитию материаловедения и устойчивого строительства». Участниками данного форума были руководители направления МИД в университетах: Northwestern University, UC Berkeley, UC Los Angeles, UC Irvine, Pennsylvania State University, Georgia Institute of Technology, University of Washington, University of Texas at Austin, University of Central Florida, University of Birmingham, University of Surrey, University of Lorraine, Monash University, Tohoku University, Seoul National University, National University of Singapore, Tel-Aviv University, Indian Institute of Technology – BHU и др. из 15 стран (США, Великобритания, Франция, Австралия, Япония, Корея, Сингапур, Израиль, Индия и др.), деканы 50 ведущих научных школ по МИД из Китая и президенты 5 международных материаловедческих научных обществ (Американское общество керамики, Европейское общество керамики, Японское общество керамики, Корейское общество керамики и Колумбийское общество по материалам и минералам).

### Обзор международных школ по материаловедению и инженерному делу

Для реализации необходимой реформы национальной системы высшего образования в апреле 2014 года в УТУ была основана и утверждена Департаментом образования провинции Хубэй Международная школа материаловедения и инженерного дела (МШМИД), которая должна стать базой подготовки высококвалифицированных специалистов и центра формирования инноваций по направлению МИД. В июне 2015 года МШ МИД была избрана для внесения в список «Сеть международных образовательных центров», поддерживаемая Министерством образования КНР и Министерством науки и технологий.

МШ МИД предназначена для обучения уникальных профессионалов-лидеров по материаловедению и инженерным наукам, которые могут изменить границы знаний и технологий для реализации потребностей страны и мира, обучая студентов по обширному и интенсивному учебному плану, предусматривающему развитие таких компетенций, как критическое мышление, коммуникативные способности, навыки командной работы и непрерывного обучения, а также путем вовлечения студентов в серьезный международный опыт, включающий лекции приглашенных профессоров из разных стран,



краткосрочные посещения университетов мирового уровня и постоянное взаимодействие с международными студентами.

Международная школа материаловедения и инженерного дела открыла первое отделение по достижениям в области материаловедения в Китае в 2016 году. С 2018 по 2021 год отделение четыре раза получало главную награду за выдающиеся достижения среди 102 отделений по всему миру.

МШ МИД строит платформы для академического обмена и междисциплинарных мероприятий. Международный университетский форум по управлению материаловедением и инженерным делом проводился в октябре 2019 года в Ухане. Более 50 кафедр по МИД со всего мира посетили форум. Он стал первым глобальным форумом по МИД, на котором обсуждались актуальные вопросы и стратегии, которые позволяют глобальному сообществу понять будущий план развития, анонсированный в Уханьской декларации.

#### **Государственная стратегическая лаборатория передовых технологий для синтезирования и обработки материалов (Уханьский университет технологий)**

Государственная стратегическая лаборатория передовых технологий для синтезирования и обработки материалов была утверждена Государственным комитетом планирования развития в 1987. После проведенной инспекции она открылась для общества

в марте 1990 года. Лаборатория находится под управлением Министерства науки и технологий. В настоящий момент профессор Гу Биньлинь, академик Китайской академии наук, является председателем комиссии лаборатории, а профессор Фу Дженги, академик Китайской инженерной академии – директор академии. Лаборатория расположена в УТУ и является стратегической лабораторией, специализирующейся на новых материалах. Департамент материаловедения и инженерного дела в УТУ был определен как первоклассный в рейтинге State Key Discipline, вошедший в государственный «985» проект «Разработка программы научных дисциплин мирового уровня» и получил рейтинг А+ в 4 туре государственной оценки направлений. Ставя целью достичь мировой уровень исследований в области материаловедения и поддержать государственные интересы, данная лаборатория обеспечивает платформу для разработки новейших материалов и технологий, для развития передовых композитных материалов, необходимых в крупнейших национальных проектах и ведущих отраслях, а также для выполнения национальных стратегических задач. В лаборатории получены результаты уникальных и системных исследований, которые повлияли на общемировые преобразующие технологии, новые материалы и междисциплинарные области, и, таким образом, это привело мировое сообщество к открытию новых сфер для изучения материалов. Лаборатория активно готовит исследовательские кадры путем включения в научную работу. Более того, лаборатория обра-

World University Forum on Materials Science & Engineering Leadership 世界大学材料科学与工程领导论坛



зовала культуру международного инновационного сотрудничества и провела взаимовыгодное исследование, способствуя, таким образом, мировой значимости, привлекательности и сплоченной работе лаборатории. Лаборатория достигла исторического прорыва в оценке государственных стратегических лабораторий по материаловедению.

Основываясь на общей концепции и целях, лаборатория фокусируется на создании и развитии многокомпонентных, крупномасштабных и многоуровневых композитных принципах и теоретических обоснованиях разработки материалов, построенных на важнейших исследовательских платформах, включающих технологии градиентных композитов, композитные технологии на местах производства работ, нанокомпозиты и их сочетания. В настоящий момент в лаборатории проводятся исследования по 5 ключевым направлениям: новейшие композитные материалы для государственных крупных проектов и отраслей, эффективные энергопреобразующие и энергонакопительные материалы и технологии, нанокомпозитные биоматериалы для естественных наук, функциональные материалы для информационных технологий и передовые материалы для преобразовательных технологий. В связи с этим лаборатория определила 5 различных направлений: технологии градиентных композитов и новых материалов, композитные технологии на местах производства работ, нанокомпозитные технологии и материалы, преобразующие технологии, а также принципы проектирования и создания материалов. В лаборатории работает инновационная и активная команда исследователей, преимущественно состоящая из специалистов молодого и среднего возраста. Постоянный штат сотрудников включает одного члена Китайской академии наук, двух членов Китайской инженерной академии, одного академика Бельгийской королевской ак-

адемии наук и искусств, двух академиков Австралийской академии технологий и инженерного дела, одного члена Международной академии керамики, двенадцать научных сотрудников национального уровня, одного ведущего научного сотрудника программы «973», пять стипендиатов национального фонда «Outstanding Youth Science Fund» и тридцать стипендиатов национального фонда «National Talent Support Plan» и др. Лаборатория активно поддерживает выдающихся ученых в посещении и проведении совместных научных работ в ведущих университетах и институтах по всему миру. В течение последних нескольких лет лаборатория направила несколько талантливых ученых в различные ведущие университеты для выполнения совместных исследований сроком более чем на 1 год.

Лаборатория уделяет особое внимание международному академическому обмену и сотрудничеству. За последние 5 лет было нанято 25 ученых с мировым именем и созданы комфортные рабочие условия для проведения исследований.

Также лаборатория взаимовыгодно сотрудничала со следующими организациями: University of Michigan; Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA); the Institute for Materials Research, Tohoku University (Япония); the Materials Research Center, University of Oxford (Великобритания); Composites Research Center, the University of California (США); the National Institute of Fuel Cells (Канада) и другими знаменитыми исследовательскими центрами и институтами.

Министерство науки и технологий основало «Международную совместную лабораторию передовых технологий для синтеза и обработки материалов», которая входит в первые тридцать три международных совместных лабораторий Китая. Более того, Государственное управление по делам иностранных экспертов и Министерство образования вместе основали три направления, поддержанных Програм-

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

мой развития инноваций и кадрового потенциала: «Новые технологии композитных материалов и новейших функциональных материалов», «Новейшие подготовительные технологии и прикладное проектирование новых функциональных пленочных материалов» и «Инновационное и кадровое обеспечение of Life композитов». Опираясь на эти важнейшие платформы, лаборатория получила государственные ключевые проекты с международным участием и достигла существенных результатов в международном сотрудничестве и обмене.

В настоящий момент лаборатория обладает площадью 25350 квадратных метров, с передовым оборудованием для синтеза и обработки материалов, а также современными инструментальными средствами для анализа структуры материалов, изучения их характеристик и тестирования эксплуатационных качеств. Общая стоимость оборудования составляет примерно 350,66 миллионов юаней.

**Знакомство с журналом  
«Междисциплинарные материалы»**

Новый научный журнал «Междисциплинарные материалы» (Interdisciplinary Materials) (ISSN: 2767-441X) был основан УТУ издательством «John Wiley & Sons, Inc» в декабре 2021. Первый выпуск был в ян-

варе 2022, и в первые три года публикации в нем будут бесплатны.

«Междисциплинарные материалы» является открытым, рецензируемым и быстропубликуемым журналом, ориентированным на междисциплинарные исследования на стыке материаловедения и других научных областей, таких как физика, химия, математика, механика, биология, энергия, экология, информатика, инженерное искусство и др. Цель журнала – публикация новейших достижений в науке и технике во всем мире.

Ожидается, что «Междисциплинарные материалы» воплотит междисциплинарный и системный подходы в изучении материалов для обеспечения обмена научными достижениями между специалистами из различных областей. Читательская аудитория будет включать физиков, химиков, математиков, специалистов по механике, биологии, энергетике, экологии, материаловедению, инженеров из академических и отраслевых структур, а также представителей государственной власти.

«Междисциплинарные материалы» приглашает Вас подавать качественные, содержащие научную и практическую новизну статьи, а также рецензии, обзоры, отклики и другой содержательный контент, представляющий интерес в сфере междисциплинарных материалов.



**Контактная  
информация**

**Уханьский технологический университет**

430070, Китай, провинция Хубэй, г. Ухань,  
район Хунгшан, 122 Луоши Роуд,  
Тел: 86-27-87884448; Факс: 86-27-87879466  
E-mail: sklwut@whut.edu.cn

Контактные лица: Джо Сянг, Джоу Лихуа

R

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>

CC BY 4.0

## Socio-economic assessment of the use of nature-like nanotechnologies for the reengineering of the technosphere

Valery V. Belozerov<sup>1\*</sup> , Mikhail A. Nikulin<sup>2</sup> , Vladimir V. Belozerov<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup> State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia,

\* Corresponding author: e-mail: safeting@mail.ru

**ABSTRACT: Introduction.** Recently, the term "nature-like technologies" has appeared in the everyday life of scientists and politicians, which quite deservedly include the so-called alternative energy sources (sun, wind, heat). At the same time, despite the fact that installations using these sources are "seasonal" and low concentrated, their use is rapidly and haphazardly developing, and many economists and politicians mistakenly consider them as basics, misleading business. Based on the analysis of the epistemology of the origin of the term "nature-like technologies", this article shows the groundlessness, and even the harm of the rapid and unsystematic use of wind turbines. Evidence is given of the inconsistency of the "myths" that Nature cannot cope with the compensation of the economic activity of mankind, therefore, according to Academician Sergeyev S.M., President of the Russian Academy of Sciences, "reengineering of the technosphere" is required. At the same time, modern economic science is far from taking into account in his models of the assimilation potentials of the biosphere of regions and the functions of entropy production in them, preferring to model various "cycles and modes", as well as calculate different "coefficients" in order to predict "crises and equilibria", without taking into account the interaction nature and society. In this connection, a scientific and technical task about determining the "place of reengineering of the technosphere" in the structure of the life support systems of society, and, consequently, to evaluate its effectiveness. **Methods, models and tools.** To solve the tasks set, it is proposed to use the "retro-forecast method" of socio-economic losses from the introduction of "natural nanotechnologies", using as "tools" the method of "spatio-temporal analysis", model of the Leontief-Ford and adaptive taxation systems of "harm production", the use of which in solving the problems of fire and environmental safety in the "technospheres of the regions" of the South of Russia (in road transport infrastructures, in cities and towns, in buildings and structures), proved their adequacy to the processes under study and usefulness. **Results and discussion.** The results of modeling the costs of efficiency of "reengineering of the technosphere" in Russia, in particular individual residential buildings, and a retro-forecast of changes in socio-economic and environmental losses during the autonomy of their resource supply (electricity, water and heat) are presented. It is shown that the production of domestic innovations in this area ("Shukhov's" wind turbines, atmospheric water condensation devices and electric heating) will allow stopping the "total gasification" of rural settlements, as well as more economically than abroad, to implement decentralized supply of resources in Russia more than 10 million individual houses and about 40 million country houses, thus determining the "true place of alternative energy" in the structure of the Russian systems of electricity, gas, water and heat supply. **Conclusion.** The proposed approach allows us to determine the place of the so-called renewable energy in the structure of resource supply systems for cities and rural settlements. At the same time, it is possible that the emergence of more productive design solutions of the proposed innovations in the field of wind energy and solar panels will expand the "autonomization" to low-rise and multi-apartment buildings in regional centers and workers' settlements, instead of a major restoration of centralized engineering systems with boiler houses and mini- CHP.

**KEY WORDS:** nanotechnology of autonomy, engineering systems of buildings, fire-energy harm, reliability, quality, safety.

**FOR CITATION:** Belozerov V.V., Nikulin M.A., Belozerov V.I.V. Socio-economic assessment of the use of nature-like nanotechnologies for the reengineering of the technosphere. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 119–136. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>.

### INTRODUCTION

Oddly enough, the term "nature-like technologies" appeared officially not in the publications of the scientific community, but in the Speech of the President of

Russia at the plenary session of the 70<sup>th</sup> session of the UN General Assembly on September 28, 2015 [1].

It should be noted that domestic publications in this area have periodically appeared over the past 15 years [2–9], but only in 2016, the president of the National

Research Center “Kurchatov Institute”, Corresponding Member RAS M.V. Kovalchuk “deciphered” and suggested that the scientific community use the following terms [10]:

**“nature-like technologies”** – to refer to fundamentally new methods and means of generating and consuming energy on the model of wildlife,

**“nature-like technosphere”** – to describe its new look, which consists in the restoration of a natural self-consistent resource turnover, which should be created by convergent nano-, bio-, information, cognitive and socio-humanitarian technologies (NBICS technologies”),

after which the concept of “nature-like technologies” appeared in the Decree of the President of the Russian Federation [11].

However, the academic community for a long time “did not accept” these new terms [12], continuing to criticize Kovalchuk M.V. for simplifying these concepts [13–16]. And the President of the Russian Academy of Sciences Academician Sergeev S.M. speech in September 2018 in Sochi at the Global Forum of Converging and Nature-Like Technologies, has stated: “Nature-like technologies are not a new trend, and we even know from the last century that this direction has taken various names (bionics, biogenetics, and so on). I would use the term “reengineering of nature” ... Nature-like technologies are the kind of reengineering that should be proud of. [17].

From time to time myths are born about future environmental catastrophes associated with the loss of the ozone layer, climate warming due to ever-increasing greenhouse gas emissions and the coming “global flood”. There are various hypotheses about the future shortage of water, energy and mineral resources, food due to the loss of part of the land resources, etc. But the most harmful thing is that the opinion is being asserted about the degradation of the biosphere as a structure, with the simultaneous loss of its function of supporting life on Earth [15, 16].

Assessments of the state of the assimilation potential of the biosphere allow us to conclude that, to put it mildly, the possibilities of human economic activity to have a significant impact on its structure and function are exaggerated. The assimilation potential of the biosphere still performs its functions to ensure the balance of the circulation of matter and energy. The energy contribution of human economic activity remains insignificant in relation to the energy potential of the biosphere, which has accumulated it over billions of years of evolution. The inertia of the biosphere, as the ability to resist disturbances from human economic activity in terms of mass and energy, the time of its formation and development, exceeds them millions of times [16,18].

The natural resource potential of the biosphere remains high not only in terms of energy reserves of hydrocarbons, various metals, but also in terms of reserves of renewable sources – solar, wind, water, geothermal energy

of the Earth, etc., the relative share of which is increasing in the overall energy balance of developed countries. However, despite the significant economic costs and low efficiency, as well as the fact that many of them are unstable, low concentration and periodic sources, many experts and politicians mistakenly consider them as basic, including from the point of view of conservation quality of the natural environment [16, 19].

The relationship of man with nature is determined by the pressure of human economic activity on nature (by withdrawing resources, producing waste, etc.). Nature responds to this to man by changing its quality strictly according to the principle of action and reaction, thus stimulating man to find solutions that will not violate the natural processes of reproduction of the quality of the environment due to the circulation of inanimate and living matter. Nature in its development does not make any choices at all, it changes according to its own laws of self-organization, according to the laws of self-preservation and random events [16,18].

You cannot tie nature to society, incl. to unnatural technologies, and talk about socio-natural development. They have different laws: nature has only natural ones, while humans have both natural, social, and technical ones.

Man and society have the goal of unlimited development and unlimited existence in time, but nature has no goal. The homeostasis of nature is in its conservation laws. Thus, in combining the concepts of nature and society, in particular, in nature-like technologies and in the nature-like technosphere, there is an insoluble internal contradiction [16, 18].

The fact is, and this is the main thing, that emissions from economic activity (heat, moisture, gases, soot, etc.) into the atmosphere and biosphere, a person carries out with different intensity and locally, on a relatively small part of the Earth’s surface. It is local thermal and material emissions containing “unnatural” amounts of toxic gases, moisture and dust that lead to perceptible disturbances in the atmosphere. Climatic anomalous flows arise, introducing an imbalance in its secular variations, which will necessarily be smoothed out in time due to the inertia of the biosphere as a whole. However, local balancing can occur either slowly and imperceptibly, or transiently. And in the latter case, the return of the system to the initial state of the climate in a particular space (region) can be tougher (catastrophic) than the exit from the previously balanced state. Everything depends on the mechanism of combinations of random fluctuations, which can create resonant climatic effects leading to unexpected consequences [16].

For example, an increase in the incidence of tornadoes and hurricanes in the Gulf of Mexico and in other parts of the United States, as well as in Western Europe, is possibly associated not only with emissions, but also with the construction of high-rise buildings and structures,

as well as wind power plants (WPP) that take away the kinetic energy of the wind. In the first case, the secular directions of seasonal winds can be changed due to the appearance of surface barriers in the path of air flows, which will certainly lead to transient fluctuations in the atmosphere and cause local eddies (turbulence) in the atmosphere. In the second case, the removal of the kinetic energy of wind turbines will also lead to a change in the secular circulations in the region and will lead to unpredictable local disturbances in the atmosphere. Thus, any human intervention in the natural course of events in the Earth's atmosphere will inevitably cause consequences that may be more noticeable locally than globally. Therefore, **the pursuit of non-traditional energy sources does not solve the problem of preserving the quality of the natural environment**, due to the operation of the principles of self-organization and the laws of conservation, action and reaction [18, 19].

The biosphere still remains a balanced system, despite the ever-increasing pressure on its structure and function from the side of man. And this means that the metabolic processes in the biosphere should increase their speed in proportion to the emerging loads based on the law of action and reaction, on the basis of the principles of synergy. Climate change on Earth is a response of the structure and function of the biosphere to disturbances caused by human economic activity, since the atmosphere is more sensitive to energy disturbances than the hydrosphere, and the latter is more sensitive than the metabolic processes occurring in the geosphere. At the same time, global changes are not so important (they are more difficult to notice and isolate), but regional or even local fluctuations, which can lead to a spontaneous change in the direction and intensity of metabolic processes in biogeocenoses – the elementary components of the biosphere. And human economic activity should not be considered outside the structure and function of the biosphere and presented as an external disturbing factor. It is internal, belonging to the biosphere itself, since a person cannot single out his activity from it and is not only its subsystem, but also an evolutionary factor that provokes a change in the environment. Within the framework of the theory of evolution, a change in the environment leads to a change in the structure of ecosystems and living organisms, adapting to new conditions, compete for survival in the human ecological niche. Therefore, **a person's awareness of his place in nature imposes on him the obligation** not only to follow the laws of nature, but also to **make a conscious choice in the pace of his development, conforming them to the rate of reproduction of natural resources and the quality of the natural environment** within the assimilation potential of the biosphere in the global plan and the assimilation potential of the environment – in the local plan. Therefore, **in the future**, using the achievements of science and technology, **mankind will be able** to use the

energy potential of the biosphere and **switch to a model of adaptive nature management within the co-evolution of the technosphere with the biosphere**, which will require of entropy approach to determine the optimal thermodynamic parameters of such adaptation, and “reengineering of the technosphere”, in particular [2, 7, 18].

It is quite obvious that **modern economic science** is far from taking into account in its models the assimilation potentials of the biosphere of regions and the functions of entropy production in them, preferring to model various “cycles and modes”, as well as calculate different “coefficients” in order to predict “crises and equilibria”, without taking into account the interaction of nature and society, **operating only on investments and created benefits** (public, collective and private), **probably because they do not understand their dialectical unity with his opposite – by harm** (public, collective and private), i.e. **the impossibility of creating benefits without the simultaneous production of harm** [2, 15].

The only acceptable way to solve such problems is, in our opinion, the method of retro-prognosis of safe life activity [20, 21], with the following “tools”:

- the Leontief-Ford model, adapted to determine the costs by suppression road, transport, energy and environmental harm in the region, and, consequently, predicting the safety of road, transport, and energy infrastructures when introducing innovations in them [22];
- the method of “spatio-temporal analysis” of socio-economic losses from fires in the regions, to determine the reduction of damage by the suppression of fire-energy harm in their technosphere and biosphere, and also of retro-forecast of fire safety of life activity when introducing of innovations in them [23];
- models of the system of adaptive taxation of “production of harm” in the region, instead of various “insurance systems”, for the targeted spending of funds on innovations, which are designed to improve the safety of the population in the regions to the level of 0.99999 required by the standard [24, 25].

## METHODS, MODELS AND TOOLS

If the Leontief-Ford model is quite well known in world economic science and it remains only to “include” in it the parameters of the assimilation potentials of the biosphere of regions and the functions of entropy production in them, then the retroprediction method [20, 21] and the model of adaptive taxation systems for the technosphere [24], according to the authors, are little known, although they were published, and the system of adaptive road-transport-environmental taxation (SARTET) was proposed by Rostov scientists instead of “auto citizenship” at hearings in the Federation Council on June 7, 2004, but did not receive support [20, 26].

The fundamental difference between the retro-forecast method and all other forecasting methods is that the forecast vector rushes from the “current” to the “past”, and its phase space is not built on “imaginary data”, the variance of which is large and is difficult to correctly determine, but on “historical”, i.e. on statistically reliable events in the past (fires, traffic accidents, deaths, injuries, material damage, destroyed objects and areas, etc.), incl. about the causes of fires and accidents, as well as the parameters for the performance of operational and tactical tasks by the “emergency services” (exit radius, times of detection, arrival, localization, etc.), which are established by experts and documented, i.e. on data with near-zero variance.

Initially, the retroprediction method was tested on arrays of an automated system processing data about fires (ASPD “FIRES”), which was developed at the All-Russian Research Institute of Fire Defense in the 80s of the last century [27] and “it was put into service” by the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation since 1995, and then finalized at the Ministry of Emergency Situations of Russia and introduced by us into the educational process of training fire safety specialists at the Rostov State Civil Engineering University [28].

A set of programs developed at the university made it possible to carry out a correlated data sampling, realizing a “spatio-temporal analysis” of the activities of any fire garrison in Russia (Fig. 1) using Erlang distributions

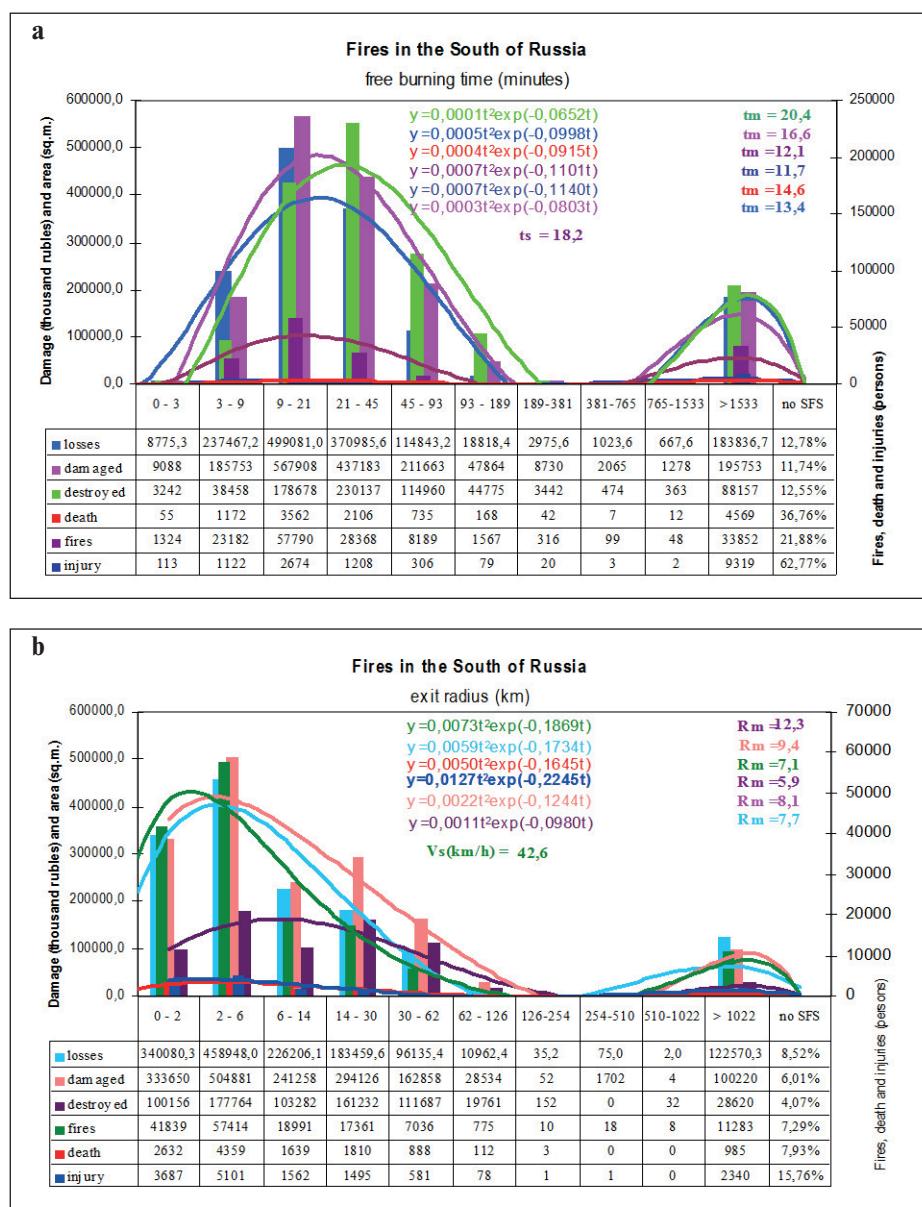


Fig. 1. Probability density functions: a – free burning times (min.); b – exit radius (km)

(1,2), after which the synthesis of “new distributions into the past” was carried out, taking into account the implemented innovations [28, 29]. At the same time, the reduction of socio-economic losses from fires when introducing innovations that eliminate certain causes and sources of fires, as well as their distribution, was determined by calculating the differences between “current and new distributions in the past” (dead’s, injuries, losses, damaged and destroyed areas, etc.) [30].

$$y = \frac{\left(\frac{t}{c}\right)^{b-1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{c}\right)}{c \cdot [(b-1)!]} \text{ and}$$

$$y = \frac{\left(\frac{R}{c}\right)^{b-1} \cdot \exp\left(-\frac{R}{c}\right)}{c \cdot [(b-1)!]} \quad (1)$$

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{t}{c}\right) \cdot \left[ \sum_{i=0}^{b-1} \frac{(t/c)^i}{i!} \right] \text{ and}$$

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{R}{c}\right) \cdot \left[ \sum_{i=0}^{b-1} \frac{(R/c)^i}{i!} \right], \quad (2)$$

where  $b/c$  is the maximum of the function,  $(b+\sqrt{b})/c$  is the “right” inflection point,  $(b-\sqrt{b})/c$  is the “left” inflection point.

A systematic analysis of the functioning of the residential sector of the technosphere (using the engineering systems of multi-apartment buildings and individual residential buildings as an example) made it possible to discover the processes of “turning consumed collective and private goods” (electricity, gas, heat, etc.) “into collective and private harm” with the help of electrical, gas and plumbing appliances (hereinafter household appliances). After that, a method was developed for measuring fire-electrical damage [31] and an electric meter-detector that turns off (in case of a fire-threatening consumption mode) the power supply of an apartment / individual residential building, with early detection of fire hazards and a “cellular alert” of the fire department [32], which were protected by patents of the Russian Federation.

This made it possible to substantiate and create a model of the system of adaptive taxation of fire-electrical harm [24], instead of “economic-legal impasse” – of insurance of civil liability of individuals and legal entities from fires (“firecitizenly”), which, as was proved by the example of civil liability insurance owners of vehicles (“autocitizenly”) does not affect road traffic safety and ecology in any way [33, 34].

Further research made it possible to supplement the above method with a gas meter and derive a unified formula for determining fire-energy harm (3) and a local adaptive fire-energy tax (AFET) for consumers (4) of energy resources (electricity, gas, coal, diesel fuel, etc.) [24, 35, 36]:

$$\text{FEH} = k_j \cdot (P_{aq} \cdot W_{aq} + P_{uq} \cdot W_{uq}) + q_g P_g \cdot W_g, \quad (3)$$

where FEH is the fire-energy harm over time  $t$ , MJ;  $P_{aq}$  – the probability of fire from electrical appliances with an acceptable quality of electricity;  $W_{aq}$  – the amount of electricity consumed with acceptable quality, kW/h;  $P_{uq}$  – the probability of a fire from electrical appliances with an unacceptable quality of electricity;  $W_{uq}$  – the amount of electricity consumed with unacceptable quality, kW/h;  $k_j$  – coefficient of conversion of kilowatt / hour to Joules (3.6 MJ),  $P_g$  – probability of fire from gas appliances;  $q_g$  is the calorific value of the gas (35 MJ/m<sup>3</sup>);  $W_g$  is the volume of consumed gas, m<sup>3</sup>.

$$\text{AFET} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \cdot V_i \cdot P_i}{K_p}, \quad (4)$$

where AFET – adaptive fire-energy tax, rub;  $T_i$  – the corresponding tariff rates in the region for “n” energy resources, rub;  $V_i$  – actually consumed volume of energy resources for the period of taxation, kW/h, ton, cubic meter, etc.;  $P_i$  – current statistical probabilities of fires in the region from household appliances,  $K_p$  – “adaptation coefficient”, which at the beginning of the introduction of AFET is equal to 1, and then increases, reducing the tax, synchronously with the increase in fire safety of the population in the region to 0.999999 according to GOST 12.1. 004.

Modeling the costs of introducing top-priority innovations (electric gas meters, detectors, self-rescuers, etc.) and a retrospective fire safety forecast for the residential sector in the South of Russia (Rostov Region, Krasnodar and Stavropol Territories) showed that due to AFET and reducing losses from prevented and detected in the early stages of fires, it is possible to achieve the required level of safe life of the population in the residential sector, where, on average, 70% of fires occur [21].

The final results of “simulation into the past” are interesting [20, 37, 38]:

*If in 1995 in the South of Russia work had begun on the introduction of a “starting” structure, or, as is customary in the ASM, the 1st stage of the macro fire safety management system (MFS MS), which intensifies preventive activities, then by 1998 it was possible to prevent 23,620 fires, than to save the lives of 2,528 and the health of 2,771 residents of the South of Russia, to reduce direct and indirect losses from fires by a total of 32.1 billion rubles, save from destruction 93,163 sq.m. and from damage 140733 sq.m. residential and*

industrial areas, to have provide current costs for the operation of the MFS MS, in the amount of 5.9 billion rubles. per year due to the reduction of annual losses from fires and due to AFET in the amount of 18.828 billion rubles. (6276.0 billion rubles per year), having paid back 25.4 billion rubles in three years. one-time costs. However, the probability of death and injury, having decreased by 2.5 times, would be  $7.62 \cdot 10^{-5}$ , which is 76 times higher than the permissible level of safety of the population in case of fire (0.999999). Therefore, in the next 2<sup>nd</sup> stage of the MFS MS, it is necessary to supplement the 1<sup>st</sup> stage with models that increase the safety of people in fires”;

“If in 1999 in the South of Russia the work on the introduction of the 2<sup>nd</sup> stage of the MFS MS, which intensifies operational and tactical activities, had continued, then by 2001 it would have been possible to prevent 33869 fires, which would save the life of 2865 and the health of 3664 residents of the South of Russia, reduce direct and indirect losses from fires by a total of 33.1 billion rubles, save from destruction 132,083 sq. m. and from damage 250553 sq. m. of residential and industrial areas, o have provide current costs for the operation of MFS MS in the amount of 13.82 billion rubles. per year, due to the reduction of annual losses from fires, and due to AFET in the amount of 18.828 billion rubles. (6276.0 billion rubles per year), recouping over the same three years all one-time costs, and the “saved” 15.9 billion rubles. direct to the introduction of self-organization models, tk. the probability of death and injury after the implementation of the 2<sup>nd</sup> stage will be  $1.2 \cdot 10^{-5}$ , which is 12 times higher than the permissible level of public safety”;

“If in 2002 in the South of Russia the work on the introduction of the 3<sup>rd</sup> stage of the MFS MS with the re-equipment of the fire department (voluntary and professional) with the equipment of “atmospheric nitrogen fire extinguishing” were continued, then within 6 years, i.e. by 2008, 64,676 fires and their spread could have been prevented, thereby saving the lives of 6,544 and the health of 6,533 residents of the South of Russia, reducing direct and indirect losses from fires by a total of 841.359 billion rubles, and save from destruction 235,236 sq.m. and from damage 733745 sq. m. of residential and industrial areas, o have provide current costs for the operation of the MFS MS, in the amount of 17.9 billion rubles. per year by reducing annual losses from fires, and at the expense of AFET in the amount of 37.656 billion rubles. (6276.0 billion rubles per year), recouping all one-time costs over the same six years, and the “saved” 97.4 billion rubles. direct to the creation of a unified geographic information system (GIS) of the South of Russia, tk. calculations showed that the probability of death and injury, having decreased by another 9 times over 6 years, will be  $1.34 \cdot 10^{-6}$ , which is 1.35 times higher than the permissible level of safety of the population in case of fire (0.999999).”

In other words [20,21]: “without the introduction of other models that require GIS, and, consequently, the interaction and self-organization of all life support services and

the Administrations of the region, it is impossible to achieve the normative level of safe life of people in the region.”

Similar results were obtained on the basis of a systematic analysis of existing legal, technical, economic, organizational and social measures that determine road safety, by means of a retro-forecast already according to the adapted Leontiev-Ford model [20,22,34], with the virtual implementation of the “Communication adaptive system of control automobiles traffic” (CASCAT), the target control function in which is the function of the production of the entropy of movement in road-transport infrastructures, which determines the probability of road-transport-environmental of harm, and when the minimum of which is reached, its maximum suppression occurs, which ensures the required level of public safety - 0.999999 [39].

The analysis of existing road-transport infrastructures made it possible to synthesize new principles of their formation, “tracking” and minimizing the entropy of movement in them through the function of the total “entropy production” ( $\Delta S = \sum i S / \partial Y_j \cdot dY_j / dt$ ), which are associated with the probability of occurrence fluctuations according to Prigogine, i.e. “with road-transport-environmental harm”, by Einstein’s formula [20,39]:

$$P = B \exp(\Delta S / k), \quad (5)$$

where k is the Boltzmann constant.

It turned out that the road structure, including the quality of road surfaces, is not the main one – in the causes and consequences of road traffic losses ( $S \rightarrow \min$ ,  $\Delta S \rightarrow 0$ ,  $P \rightarrow B$ ). And this meant that in the absence of transport, roads are practically safe, and road-transport-environmental harm (RTEH) depends [6,9,39]:

- on the number ( $\partial_1 S / \partial N_j \cdot dN_j / dt$ ), speed ( $\partial_2 S / \partial V_j \cdot dV_j / dt$ ), weight ( $\partial_3 S / \partial P_j \cdot dP_j / dt$ ) and wheel arrangement of vehicles ( $\partial_4 S / \partial J_j \cdot dJ_j / dt$ ),
- on the type and amount of fuel consumed by them ( $\partial_5 S / \partial M_j \cdot dM_j / dt$  – through a conventional ton of fuel),
- on the number ( $\partial_6 S / \partial n_j \cdot dn_j / dt$ ) and speed of movement of pedestrians ( $\partial_7 S / \partial v_j \cdot dv_j / dt$ ).

The economic subsystem in the macrosystem “CASCAT” is the System of Adaptive Road – Transport – Environmental Taxation in the region (“SARTET”), which allows you to generate funds for the creation, development and operation of such a macrosystem without external investment [26, 39].

The optimality and adaptability of the introduced adaptive road-transport-environmental tax, which should be a “local tax” (instead of all road-transport taxes, including auto insurance), consists in a clear distinction, accounting and compensation for RTEH by the “taxable base”, because depends and is calculated for a specific road transport infrastructure of a district (city) according

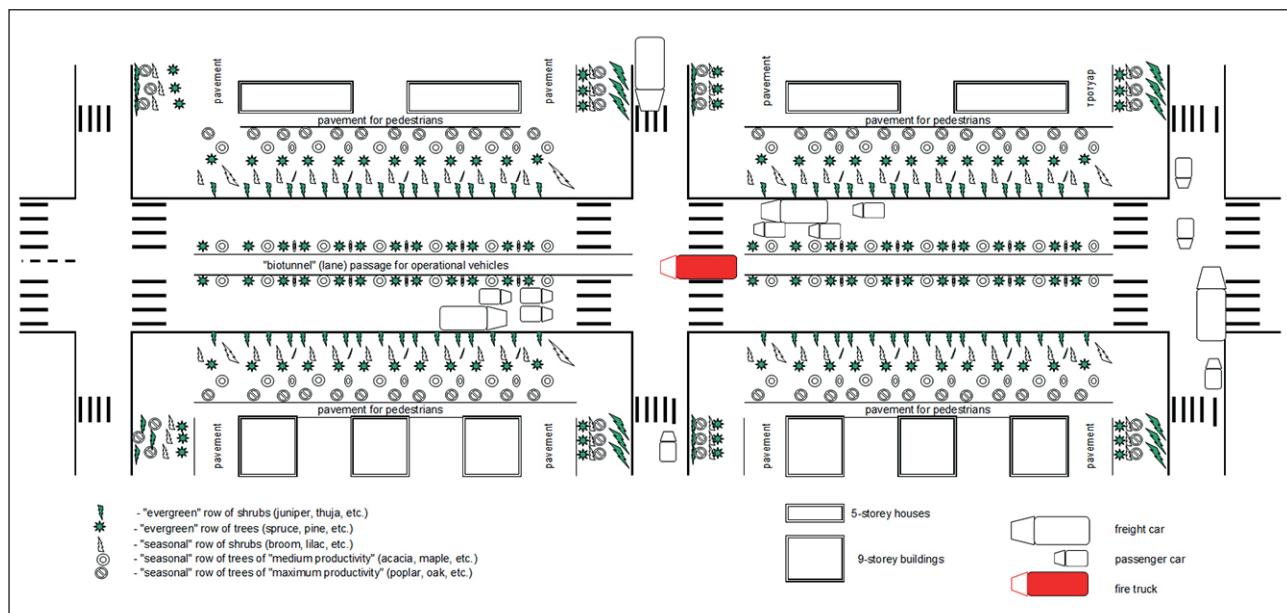


Fig. 2. Bioarchitecture of the road transport network

to the “seasonal productivity” of ecosystems, population and transport, the dynamics of their movement, including the introduction of free passenger transportation at the expense of ARTET, i.e. “turning passenger transport into a public good” [20, 33]. At the same time, the “seasonality” of ecosystem productivity is realized with the help of the bioarchitecture of the road transport network (Fig. 2), by special planting of trees and shrubs – “biotunnels”, which absorbs RTH and, therefore, depends on the intensity of traffic and pedestrians, including their seasonal changes [6,9].

Interesting, according to the authors, is the final result of “modeling into the past” for the city of Rostov-on-Don [20, 39]: “If in 1994 in Rostov-on-Don a state-legal experiment was started to create a “CASCAT”, then it was allowed to spend 550.0 million rubles on the development and development of the production of the necessary technical means and organizational and legal measures, and at the same time the system would pay off by reducing the direct and indirect material and moral damage caused to the population and the environment by motor vehicles. Rostov-on-Don, if its construction is carried out within 8 years and 14.5 billion rubles are spent. In other words, at the expense of the funds received by ARTET from 1994 to 2002 and the reduction of losses from RTH, it was possible to carry out “co-evolution of the technosphere and biosphere” in the road transport network of Rostov-on-Don”.

A similar “co-evolution of nature and the technosphere” was proposed for thermal and central power plants (CPP), which (Fig. 3), after motor transport, occupy “2<sup>nd</sup> place” in terms of the emission of H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and other toxic gases and “1<sup>st</sup> place” in burns the oxygen in the atmosphere [40].



Fig. 3. External view of the city CPP

The synthesis of the “FARSEC” system (of Fire-Adaptive-Regulation and Suppression of Energy harm and Compensation for burned oxygen) was carried out (Fig. 4) based on the following innovative solutions [40, 41]:

Interesting, according to the authors, are the plans 15 years ago (of course, not implemented) to introduce the FARSEC system [40]:

“Currently, the FARSEC system is planned to be developed and implemented under the START-2006 program at one of the Rostov boiler houses, and according to preliminary calculations, it should remove the problem of environmental hazard from the CPP. Confidence in the implementation of the project is created by the participation in it of the largest domestic research and production enterprises: Geophysics-Cosmos (Moscow), Tekhnologiya (Obninsk), and successfully developing companies: LLC VM-energy (Ufa), Elegaz (Moscow) and Biotechnology (Rostov-on-Don), as well as

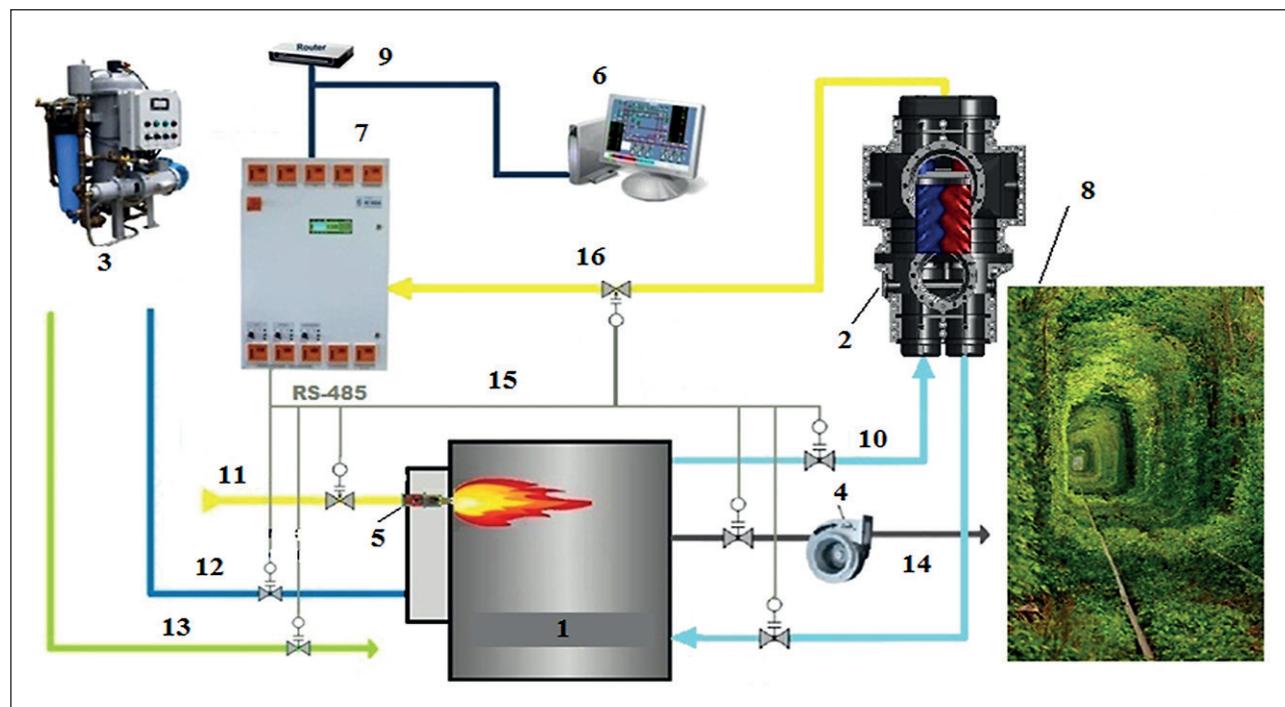


Fig. 4. Block diagram of the “FARSEC” system:

1 – SF6 boiler (R-510); 2 – Steam-screw machine (SSM); 3 – Membrane air separator; 4 – Smoke exhauster; 5 – Ultrasonic nozzle (for fuel oil); 6 – Dispatcher workstation; 7 – Multifunctional controller (MFC) with input-output modules of the process control system; 8 – Biotunnel (instead of a chimney); 9 – Router; 10 – Vapor-gas phase R-510; 11 – Hydrocarbon fuel (gas, fuel oil, etc.); 12 – Air enriched with oxygen, after nitrogen separation; 13 – Nitrogen, separated from the air, for the system of suppression of fire and energy harm and hazardous factors of fire and explosion; 14 – Emissions from fuel combustion in the biotunnel; 15 – Network of remote “smart” MFC modules; 16 – Electricity for own needs from the SSM

*leading domestic universities and research institutes in this field: Rostov State University (Rostov-on-Don), Academy of the State Fire Service of EMERCOM of the Russian Federation (Moscow), RSSU (Rostov-on-Don) and the Krasnodar Research Institute, P.P. Lukyanenko “.*

## RESULTS AND DISCUSSION

Localization and suppression of fire-energy harm in individual residential buildings, of which there are about 10 million in Russia (plus about 40 million garden and country houses), as shown by our studies, is possible due to the autonomy of electricity, water and of heat supply from alternative sources. (wind, sun, atmosphere) with the help of “nature-like nanotechnologies” [19].

Taking into account the above volume of individual residential buildings in Russia, as well as differences in structure, productivity (Fig. 5) and cost (Table 1) of component equipment (by an order of magnitude or more), the following scientific and technical problems:

firstly, it is necessary to estimate the costs of such a "reengineering of the technosphere" in Russia, with imported and domestic equipment,

- secondly, to carry out a retro-forecast of the effectiveness of such reengineering of the technosphere in Russia,
- thirdly, to conduct a comparative analysis of the effectiveness of imported and domestic equipment,
- fourthly, to simulate the conditions for the implementation of the optimal variant in Russia.

Costs for imported and domestic configurations. As follows from the comparative data of wind turbines (Table 1), the cost of a Chinese wind generator with a capacity of 1.0 kW is 100.0 thousand rubles, the cost of the AQUAMATIK drinking water apparatus is 80.0 thousand rubles. [42], a set of hydraulic panels (Fig. 6) with a capacity of 10 liters. per day "ZERMASS" costs 380.0 thousand rubles. [43], and one Chinese solar battery of 300 W SRP 320 costs 18.5 thousand rubles [44,45].

Thus, the cost of one individual residential house in an imported configuration of duplicated system will amount to 634.0 thousand rubles.

As follows from the comparative data of wind turbines (Table 1), the cost of the “Shukhov wind generator” with a capacity of 1.0 kW is 1.9 thousand rubles, the cost of a domestic atmospheric water generator T-88 “Soyuz” (Fig. 7) with a capacity of 30 l. per day – 115.0 thou-

*Table 1*  
Comparative characteristics of wind turbines

Parameter	Wind generator vane type	Wind generator with vertical axis	Wind generator «Shukhov»
Power, kWt	1.0	1.0	1.0
Dimensions, mm	Diameter-2800, (circumference described by blades)	Diameter-454, Blade height-4000	Diameter-520, Height-850
Weight, kg (wind turbine + generator)	70	98	43
Wind force during breakaway, m/s	2.0	3.0	1.0
Rotation Speed rpm	300...400	180...300	600...900
Specification	wind turbine, Generator, Battery, inverter, cable assembly, Guyed mast	wind rotor, Generator, Rectifier, Controller, cable assembly, Guyed mast	wind turbine, Generator, Transformer
Cost, euro	1300 (China)	3350 (Ukraine)	250 (Russia)

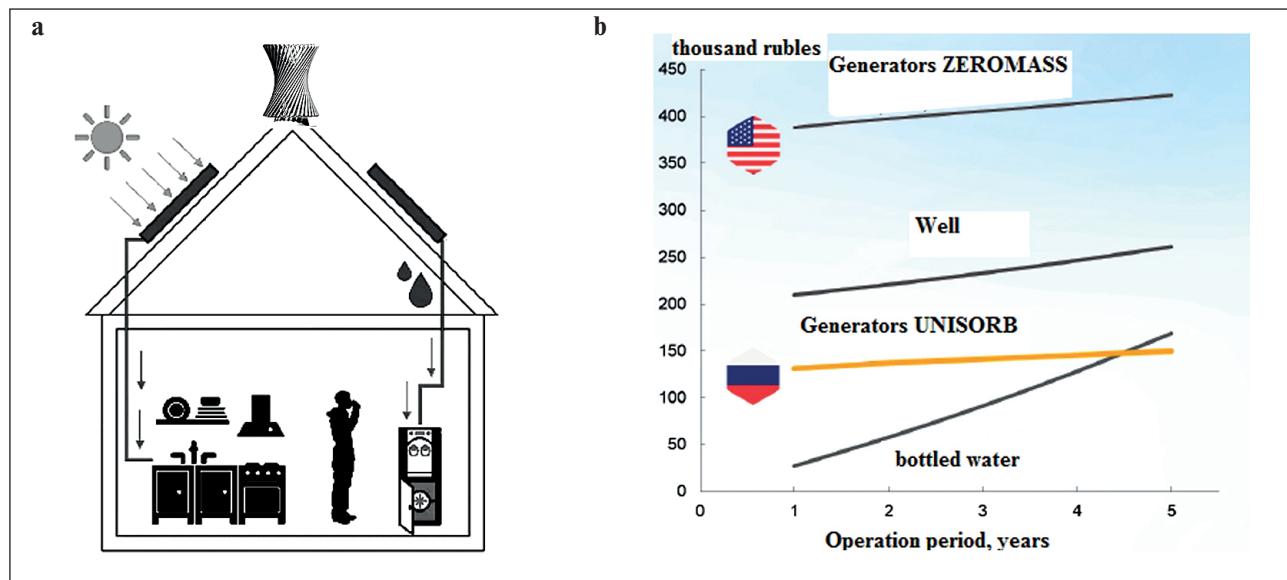


Fig. 5. Scheme of the autonomization option (a) and graphs of costs for water sources (b)

sand rubles. [46], a set of domestic hydraulic panels "UNISORB" (Fig. 5) with a capacity of 10 liters. per day – 120.0 thousand rubles. [43], one domestic solar battery of 290 W HEVEL – 23.7 thousand rubles. [44, 45].

Consequently, the cost of one individual residential building in the domestic configuration for a duplicated system will amount to 331.7 thousand rubles, i.e. almost two times less. And it remains to assess the amount of funding for the proposed autonomization and its contribution to the existing generation and delivery of electricity, water and heat to the population of Russia.

Volumes of necessary financing and generation of received resources (electricity, water and heat) during

autonomization. If we consider only capital individual residential buildings, then for the installation in them of autonomous engineering systems for supplying resources (electricity, water and heat) in an imported configuration (without installation costs), it will take 6.34 trillion. rub. In this case, we will obtain the following volumes of resources produced with the help of nanotechnologies in individual residential buildings during the year:

water supply with drinking water – 73 billion liters or 73 million cubic meters. m.;

hot water supply – 7.3 billion liters or 7.3 million cubic meters. m.;

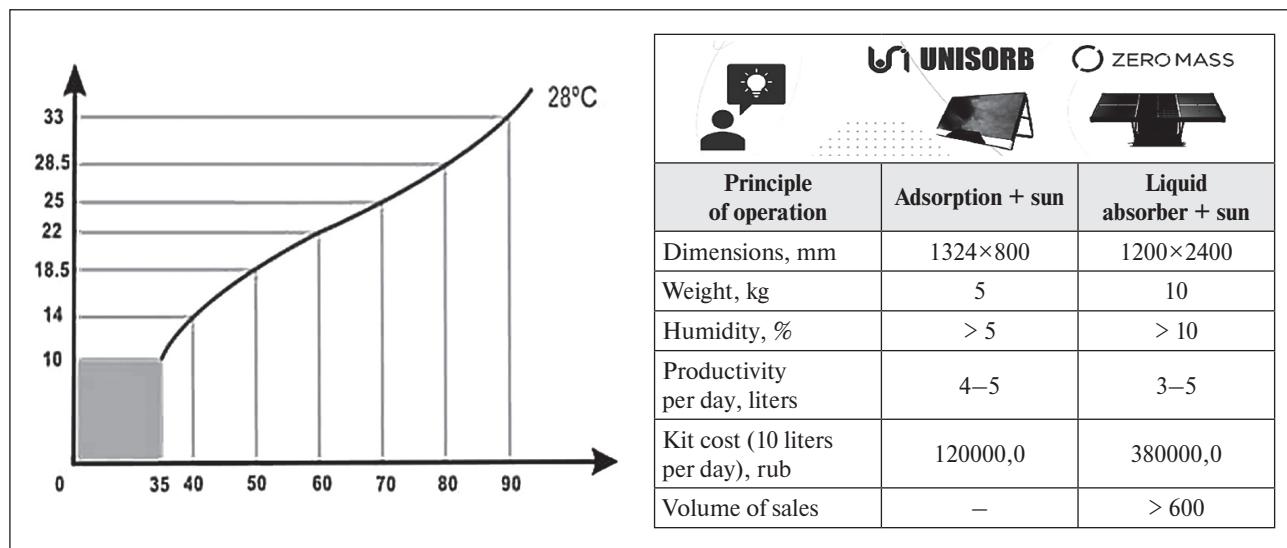


Fig. 6. Characteristics and performance chart of hydropanels



Produced water	Drinkable, hot and cold
Total power, W	1000–1150
Heating power, W	500
Cooling power, W	500
Cold water temperature, °C	4–10
Hot water temperature, °C	75–93
Type of refrigerant and its quantity, g	R134–460
Amount of water per day, liter	30
Water tank, liters	12.5
Hot water tank, liters	1.8
Cold water tank, liters	2
Medium temperature range, °C	15–40
Humidity, %	35–95
Noise level, dB	< 60
Device weight, kg	50

Fig. 7. Atmospheric water generator T-88 LLC "Soyuz"

power supply – 192.72 billion kWh;

heat supply – 102.6 million Gcal (for the heating season of 6 months –  $0.0342 \cdot 6 \cdot 50 = 10.26$ ).

To equip the remaining 40 million summer cottages and garden houses, another 25.36 trillion rubles will be required. rub. and the total volume of produced resources per year will be:

drinking water supply – 365 billion liters or 365 million cubic meters. m;

hot water supply – 36.5 billion liters or 36.5 million cubic meters. m.;

power supply – 963.6 billion kWh;

heat supply – 513.0 million Gcal.

Under the same conditions, for the first stage (10 million houses) in the domestic configuration, 3.317 trillion will be required. rubles, and for the second stage (40 million houses) – 13.268 trillion. rub., practically with the same volume-time characteristics of the produced resources with the help of "nature-like nanotechnologies".

To carry out a retro-forecast of the introduction of autonomous engineering systems of individual residential buildings (AES IRB), statistics of events related to the operation of the existing energy system, which was "sawed" after the collapse of the USSR, for to create the so-called "of electricity of market" into two main structures: "generating" (which includes all power plants) and "supplying" (consisting of "guaranteeing suppliers" and others, if any). At the same time, their "market interaction" consists in the fact that the "generating structure" sells electricity, for example, at "federal prices" (up to 1 ruble per 1 kWh), and the "supply structure" sells electricity at "regional prices" (from 2 to 5 rubles per 1 kWh), and even in the form of an experiment (which will not end in any way since 2013) according to "social norms" approved by regional tariff commissions. In this connection, consumers pay not only for the actual consumption of electricity, but also for losses in the electrical networks of "supplying structures" (!), Which, as our studies have shown, are "legally" allowed [19, 47, 48].

Consequently, the "economic effect" (more precisely, the annual savings of citizens in value terms) from the introduction of the "electrical part" of the AES IRB will, on average, be 3.5 times greater than the "income of the generating structure", which will amount to 3.372 trillion rubles. rub. annually ( $963.6 \text{ billion kWh} \cdot 3.5 \text{ rubles}$ ).

Obviously, if the population saves on electricity, then there will be those who will lose their income, and these will be power supply organizations (the guaranteee-

ing supplier in the first place), because the “generating structure” will continue to sell them electricity, which is constantly lacking for the development of Russia. However, against the general background of electricity supplies to enterprises and organizations (legal entities), no one will notice such a “loss”, and as compensation, “supplying structures” will receive a smoothing of the daily load peak, and, consequently, an increase in the quality of the supplied electricity and a reduction in losses, i.e. because usually the peak of energy production by solar panels coincides with the daily peak of consumption [44].

It remains to be determined from where, in what amount annually and over how many years 16.585 trillion rub., for a complete set and implementation of AES IRB?

The fact is that since 2009, support for renewable energy sources has been in place in Russia – the rules are spelled out in a government-approved document. Initially, support measures were designed for the period until 2020, but they were extended until 2024. There are no state subsidies in support measures – they are aimed only at attracting private investment [49].

The retail electricity market provides for competitive selection, as a result of which the investor receives the right to build renewable energy facilities of any kind with a guaranteed return on investment. The payback period is 15 years, the rate of return is 14% per annum for objects commissioned before January 1, 2017, and 12% per annum for objects commissioned after January 1, 2017.

Since 2013, the commercial operator ATS JSC has been conducting a competitive selection of projects every year. Based on the selection results, by 2024 it is planned to invest 528.74 billion rubles in the construction of renewable energy facilities in Russia, of which 330.73 billion rubles fall to wind power plants, and 201.25 billion rubles to solar power plants. [50].

If we add to the indicated data of ATS JSC the volume of investments invested by business in the unsystematic copying of “foreign experience” from 2009 to 2013 [51], then the total amount of losses from the “dead-end development” of RES in Russia over 12 years exceeded 1.0 trillion . rub.

From the point of view of organizing the implementation of AES IRB, the experience of the Netherlands is of interest [52]. The cost of 1 kWh of using a centralized electricity supply for individuals in the Netherlands is approximately 30 euro cents, which, like ours, is 4.5 times higher than the cost of electricity produced (7 euro cents, and the rest is taxes, duties, etc.). At the same time, after coordination with local energy supply organizations, the owner installs a bidirectional electricity meter and solar panels powered by a grid inverter (an inverter operating in parallel with the grid). At night, electricity is consumed from the network, and the meter counts its amount, and in the morning the energy from solar panels through the

network inverter begins to mix into the house electrical network behind the meter, thereby reducing consumption from the network. Accordingly, the meter continues to count energy, but at a slower rate, and after the generation of electricity by solar panels reaches the level of full consumption of the house, consumption from the city network stops, the meter stops and all the needs of the house are fully provided by solar panels. With a further increase in the production of electricity by solar panels or with a decrease in consumption at home, excess electricity begins to be unloaded into the city network, while the meter begins to subtract this energy from its previous readings. By the end of the reporting period (month), three options are possible for the balance of consumed and generated energy [52]:

- energy production by solar panels for the period did not exceed the consumption of the house, in this case it is paid at the rate of 30 euro cents – the difference between consumption from the network and generation from the sun;
- energy production by solar panels for the period is equal to the consumption of the house, in this case it will not be necessary to pay for electricity at all;
- the solar panels’ energy production for the month exceeded the house’s consumption, in which case the sales company will pay for the “excess energy”, but only at a rate of 7 euro cents per kWh.

However, such an organization encourages the installation of panels of such power that the balance of consumed and generated power approaches zero, because it is simply unprofitable to produce more, due to the fact that a tariff of 7 cents will not allow you to recoup the funds invested in installing extra panels during their entire service life. And this method of “forced organization” in conjunction with the controlled issuance of permits implements the process of “self-organization”, since no work is required to adapt the network to receive power from the grid companies, which eliminates the problems associated with an excess of power in the sections networks between consumers and nearby transformers). This system works well and makes a tangible contribution to the overall energy balance of the Netherlands, without requiring batteries to store excess electricity [52].

In Russia, despite changes in the legislation in the field of microgeneration of electricity, due to the lack of regulatory by-laws, the existing system practically does not allow unloading of excess electricity into the network by individuals [53], therefore, to accumulate of surplus, batteries are required, which increase the cost of implementing AES IRB. However, technically, nothing prevents us from borrowing the experience of the Netherlands, because many of the electronic meters used in Russia are initially capable of counting energy in two directions, now this function is disabled by software [52].

So, let's list the advantages of such a circuit solution (Fig. 8) for the population and our state, built taking into account the processes of self-organization:

firstly, citizens receive better quality electricity without interruptions in electricity supply and save on paying for it (at least 100 rubles per month for each person living according to the "social norm");

secondly, citizens receive better quality drinking water without interruptions in water supply and save on paying for it (at least 300 rubles per month for home ownership);

thirdly, citizens receive better quality hot water without interruption and save on paying for it (at least 300 rubles per month for home ownership);

fourthly, citizens receive comfortable living conditions without interruptions in heat supply with autonomously controlled heating, while saving payment (at least 1,000 rubles per month for home ownership during the heating season);

fifthly, citizens really participate in solving the problem of "reengineering of the technosphere" with the help of "nature-like nanotechnologies", saving, on average,

144.0 thousand rubles. per year on payment for electricity, water and heat in an individual residential building;

sixth, the state ensures the growth of the share of alternative energy in the overall balance, stimulates the production of solar panels and hydropanels, wind turbines, drinking water generation devices and other devices included in the AES IRB, which increases the gross domestic product (GDP) and the number of jobs, improving, thus, the attitude towards power on the part of society, etc.

There are also relevant applications for small alternative energy — these are engineering systems for remote autonomous objects. What hinders the implementation of such an approach?

Firstly, the lack of a systematic approach to alternative energy, as evidenced by the above data on the erroneous vector of its development, "laid in 2009" by the Government of the Russian Federation [48].

Secondly, the lack of systematic support in the production of domestic innovations in wind energy, in the generation of drinking water, and in the production of "budget" hydropanels and solar panels.

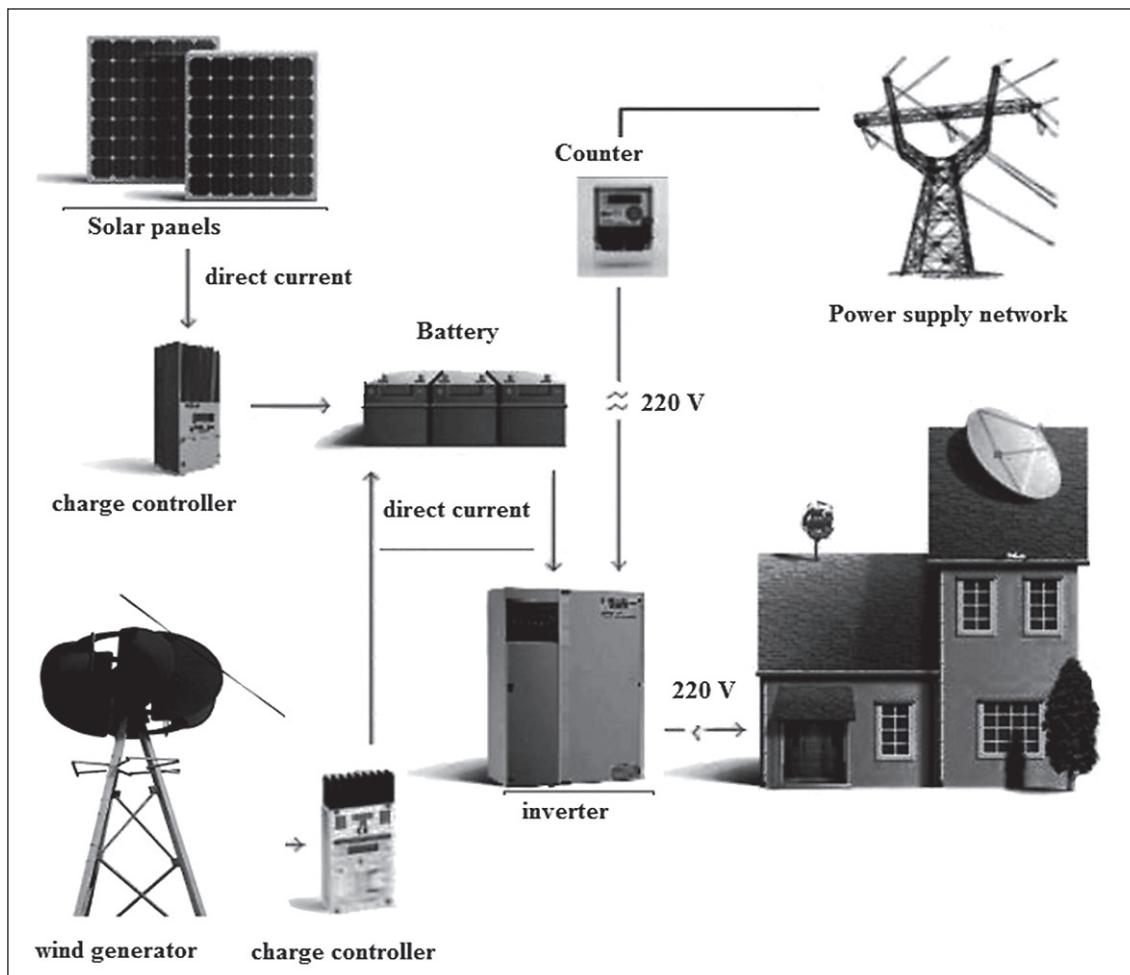


Fig. 8. The structure of the wind-solar part of the AES IRB

Thirdly, and this is the main thing – in the absence of state will and an appropriate regulatory framework, to “direct business in the right direction”, to ensure the well-being and safe life of the people, and not to increase fire-explosion hazard from “thoughtless gasification of the village” and poor quality electricity, water, heat supply of the residential sector and households, with “super profits” of resource-extracting and resource-supplying companies.

So, let's make a retrospective forecast for the development of alternative energy in Russia from 2009 to the present, i.e. since the adoption of the erroneous decision of the Government of the Russian Federation [54].

To determine the time interval for the deployment of the proposed autonomization of individual residential buildings, it is necessary to calculate the time for the production of domestic components of the AES IRB complex and the volume of its annual production. At the same time, an obvious solution is to locate the production of complexes in each subject of the Russian Federation, by creating enterprises in the form of a public-private partnership (PPP), with branches/plots in cities and regional centers of the region for the installation and maintenance of AES IRB on the territory of the subjects. At the same time, the number of these enterprises is easily determined by the ratio of the number of individual houses to multi-apartment/high-rise buildings according to cadastral registration data in each region [55].

However, for a retro-forecast of the effectiveness of the proposed “autonomization” model at this stage, such accuracy is not required if the total number of individual residential buildings and households is known [19].

Thus, in order to determine the financing of the production and installation of AES IRB in the regions, it is necessary to organize 85 PPP enterprises for the production of AES IRB components and transfer it to city and regional branches/ plots for the assembly and installation of “specified AES IRB” consisting [19, 37, 56]:

- from “Shukhov wind-electric generators”;
- from vortex wind-electric generators – sources of atmospheric water;
- from UNISORB hydropans;
- from solar panels;
- from inverters-meters-detectors;
- from battery charge controllers-detectors;
- from devices for generating cold and hot water from air (GCHW);
- from domestic multi-split systems-detectors;

For remote autonomous objects (weather stations, foresteries, mountain posts, etc.) and for export, regional enterprises can assemble AES IRB into a container and carry out installation, commissioning and periodic maintenance on their own.

Branches/sites are located in cities and district centers and work under contracts with specific customers in the region (owners of IRR), developing projects for “bind-

ing” AES IRB already specified to a specific house (SAES IRB) with the following options:

- dubbed SAES IRB (with a specific number of hydropans and a GCHW apparatus, with a Shukhov wind-electric generator and a specific number of solar panels with an inverter-detector and a battery charge controller-detector, depending on the number of residents) and with domestic multi-split system-detector (with a specific number of indoor units: according to the number of rooms, but at least one in a room with an electric stove);
- tripled SAES IRB (with a specific number of hydropans, with a GCHW apparatus and with a vortex wind-electric generator-source of water, with a “Shukhov” wind-electric generator and with a specific number of solar panels with an inverter-detector and charge controller-detectors battery, depending on the number of residents) and with a domestic multi-split system-detector (with a specific number of indoor units: according to the number of rooms, but at least one in a room with an electric stove).

Branches/sections of enterprises, in agreement with each customer, determine the scheme of water supply and heating of his house, purchase an induction electric boiler with “warm floors” and / or wall-mounted batteries, or infrared heaters and other electrical heating appliances [19], including the necessary domestic plumbing and drainage components (into a drain pit prepared by the customer or into the sewerage system – if any), and also carry out the installation and commissioning of the AES IRB, after which they conclude an agreement with the customer on its periodic inspection and repair (if necessary).

Let us assume that instead of the said Decree, the Decree of the Government of the Russian Federation “On the deployment of work on the production and provision of all individual residential buildings with domestic life support complexes” was issued, in which half of the costs are allocated from the budget as a source of financing, and the remaining half – by banks, by issuing owners of individual residential buildings of interest-free loans to pay for AES IRB, the repayment of which begins after their commissioning, in the amount of 1000 rubles per month (almost corresponds to savings), which allows you to repay a bank loan (equal to half the cost of AES IRB) within several years.

In this case, we get the following average production plans for each of the 85 enterprises (PPP) from 2009 to the present (12 years):

1. 9804 complexes of AES IRB per year (10.0 million IRB /(85 PPP • 12 years)), which, with 247 working days a year, will amount to 39 complexes per day. Consequently, when each enterprise operates in 3 shifts, it is necessary to produce 13 complexes per shift, which is quite feasible, and in physical and value terms will be:

1.1. 9804 "Shukhov" vortex wind-electric generators - 213.2 million rubles. (9804•250•87).

1.2. 9804 vortex wind-electric generators – 357.2 million rubles. (9804•3350/8•87).

1.3. 9804 sets of 4 UNISORB hydropanels – 1176.5 million rubles. (9804•120000).

1.4. 39728 solar panels – 529.4 million rubles. (9804•4•13500).

1.5. 9804 inverter detectors – 279.4 million rubles. (9804•28500).

1.6. 19608 controller-detectors of charge battery – 268.6 million rubles. (19608•13700).

1.7. 9804 of GCHW devices – 1127.46 million rubles. (9804•115000).

1.8. 9804 of domestic multi-split systems-detectors – 882.4 million rubles. (9804•90000).

2. The total annual volume for each PPP enterprise will be 4.834 billion rubles. and the total volume of production of equipment for AES IRB for 12 years - 4.931 trillion. rub.

3. The specification, installation, adjustment and periodic inspection of 10 million houses over 12 years in 85 subjects will require 1031.3 billion rubles, and the annual volume of branches/plots of one PPP enterprise will be 1.45 billion rubles.

To organize these PPP enterprises in the constituent entities of the Russian Federation, we will use the competition under Decree of the Government of the Russian Federation No. 218 [56]. This will make it possible to receive 245 million rubles in each region within 3 years. state loans and another 245 million rubles. attract through an interest-free bank loan, which each newly created PPP enterprise will repay within a few years.

Thus, the total amount for the creation and equipping of 85 PPP enterprises in the constituent entities of the Russian Federation with the necessary technological equipment, i.e. for 85 PPP projects, will amount to 41.65 billion rubles.

Assuming that these enterprises will produce high-tech products, we calculate their number, by analogy with domestic achievements for 2020, recorded by the Decree of the Government of the Russian Federation [58], i.e. based on the volume of output of 4.8 million rubles. for one high-tech workplace, the average annual number of one PPP enterprise will be 1,007 specialists (4.834 billion rubles / 4.8 million rubles). Taking into account the 3-shift mode of operation and the minimum size of the engineering and management staff (47 employees), it is possible to organize 24 integrated teams of 40 people each (an average of 5 specialists for one of the eight types of AES IRB equipment). At the same time, the average annual number of its branches/plots, whose design and installation activities are also considered high-tech, will average 302 specialists (1.45 billion rubles/4.8 million rubles), i.e. from 5 to 10 staff posi-

tions, on average, for one branch / site in the subject of the Russian Federation.

Thus, the total number of high-tech jobs in 85 constituent entities of the Russian Federation will amount to 111,265 staff positions.

By the end of the implementation of AES IRB, the Government of the Russian Federation should prepare and submit to the State Duma of the Russian Federation a draft law "On fire and energy taxation of the residential sector", in order to ensure the probability of life safety in the "rest of the residential sector" is not higher than 0.999999 [20, 59].

Similarly, it is possible to estimate the volumes for equipping the AES IRB of the "remaining" 40 million garden houses and households, which can be mastered faster if PPP enterprises of the constituent entities of the Russian Federation are enlarged.

Thus, putting into production domestic innovations in the field of "so-called renewable energy sources" ("Shukhov's" wind turbines, atmospheric water generators, solar panels, hydropanels, etc.) may stop the "total gasification" of rural settlements than " save hundreds of billions of rubles" and drastically reduce the fire and explosion hazard of the residential sector, as well as more economically than abroad, implement decentralized resource supply in Russia for more than 10 million individual houses and about 40 million country houses, thereby determining – "the true place of alternative energy" in the structure of the Russian systems of electricity, gas, water and heat supply.

## CONCLUSION

An analysis of the directions and rates of development in the world, "the so-called renewable energy sources", showed that these installations are unstable, low concentrated and periodic sources, and therefore, their unsystematic use is a serious mistake of scientists, specialists and politicians. Based on the analysis of engineering systems of multi-apartment residential buildings and individual residential buildings, as well as fire, energy and environmental damage resulting from their operation, nanotechnologies and Russian patents are proposed that implement "nature-like technologies" that allow solving the problems of autonomous electricity, water, heat supply of individual residential buildings. It is shown that the integration of "Shukhovskaya" and vortex wind turbines, domestic hydropanels and solar panels make it possible to create a replicable autonomous engineering system for individual residential buildings (AES IRB).

Due to the duplication and tripling of AES IRB can provide individual residential buildings with electricity, water and heat with quality, reliability and safety parameters that are several orders of magnitude higher than the existing centralized resource supply systems for cities

and towns, than to create fire-explosion-safe conditions for the life of the population in accordance with GOST 12.1.004.

Mass alternative energy in Russia is indeed possible and effective, but only in the residential sector, so it is advisable to continue research in the direction of “replicating AES IRB” for multi-apartment residential buildings, thereby increasing their efficiency by reducing about

70% of socio-economic losses from annual fires , as well as explosions, when using household gas.

Subject to reasonable state support, it is possible to successfully develop alternative energy in promising regions of Russia – in Siberia and the Far East, for example, as part of the “Far Eastern hectare”, as well as in the use of AES IRB for life support of remote and hard-to-reach objects.

## REFERENCES

1. Official website of the President of the Russian Federation. Speech by the President of Russia Vladimir Putin at the plenary session of the 70<sup>th</sup> session of the UN General Assembly on September 28, 2015 [Internet]. Available from: <http://kremlin.ru/events/president/news/50385>. [Accessed 6th March 2022].
2. Belozerov V.V., Boguslavsky E.I., Pashchinskaya V.V., Prus Yu.V. Adaptive systems of entropy suppression in the technosphere. *Successes of modern natural science*. 2006; 11: 59–62.
3. Kovalchuk M.V. Nanotechnologies – the foundation of a new science-intensive economy of the XXI century. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2008; 1: 143–158.
4. Kovalchuk M.V. Convergence of sciences and technologies - a breakthrough into the future. *Russian Nanotechnologies*. 2011; 6(1–2): 13–23.
5. Kovalchuk M.V., Naraykin O.S., Yatsishina E.B. Convergence of sciences and technologies and the formation of a new noosphere. *Russian nanotechnologies*. 2011; 6(9–10): 10–13.
6. Belozerov V.V., Pashchinskaya V.V. Bioarchitecture of transport and energy infrastructures. In: *Modern trends in regional development: balance of economy and ecology: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Makhachkala: ISEI DSC RAS; 2014. p. 138–146.
7. Belozerov V.V. On the probabilistic-physical and entropy approaches to combustion processes and the definition of fire danger. *Safety of technogenic and natural systems*. 2021; 4: 36–51. Available from: doi: <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-36-51>
8. Kovalchuk M. V., Naraykin O. S., Yatsishina E. B. Convergence of sciences and technologies - a new stage of scientific and technical development. *Questions of Philosophy*. 2013; 3: 3–11.
9. Belozerov V.V., Kirlyukova N.A., Pashchinskaya V.V. About nature-like technologies for road safety management. In: *Improving the international competitiveness of Russian innovative products and technologies of enterprises of the Rostov region: Proceedings of scientific papers. I International Scientific and Practical Conference, within the framework of the Open International Scientific and Practical Forum “Innovations and Engineering in Forming the Investment Attractiveness of the Region”*. Rostov n/a: DSTU; 2016. p. 40–44.
10. Kovalchuk M.V., Naraykin O.S. Nature-Like Technologies – New Opportunities and New Threats. *Security Index*. 2016; 22(3–4): 103–108.
11. Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation (approved by Decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 No. 642) [Internet]. Available from: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATIOJiq5tZsJgqcZLY9YyL8PWTXQb.pdf> [Accessed 6th March 2022].
12. Kovalchuk M.V., Naraykin O.S., Yatsishina E.B. Nature-like technologies: new opportunities and new challenges. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. – 2019; 89(5): 455–465. Available from: doi: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>.
13. Kokin A.V., Albakova T.U. Entropy of complexity and complexity of management. *State and municipal management. Scientific notes of North Caucasian Academy of Civil Service*. 2012; 1: 15–28.
14. Sergeev A.M. Scientific support for the implementation of the priorities of scientific and technological development of the Russian Federation. Introductory speech by the President of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences A.M. Sergeeva. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 89(4): 309–310. Available from: doi: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894309-310>.
15. Belozerov V.V., Gavriley V.M., Topolsky N.G. *Synergistic systems of noospheric security*. Moscow: AGPS EMERCOM of the Russian Federation; 2020.

16. Kokin A.V., Kokin A.A. Nature-like technologies and balanced environmental management in the conditions of the modern economy. *State and municipal management. Scientific notes.* 2020; (1): 131–136. Available from: doi: <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136>.
17. Nature-like technologies are not a new trend. How the discussion about unpredictable technologies of the future turned out [Internet]. Available from: <https://indicator.ru/engineering-science/prirodopodobnye-tehnologii.htm> (accessed 01/05/2022).
18. Kokin A.V. *Assimilation potential of the biosphere.* Rostov-on-Don: North Caucasian Academy of Civil Service; 2005.
19. Belozerov V.V., Voroshilov I.V., Oleinikov S.N., Belozerov V.I.V. Synthesis of life support nanotechnologies into a replicable autonomous engineering system of an individual dwelling house. *Nanotechnologies in Construction.* 2022; 14(1): 33– 42 Available from: doi: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-33-42>.
20. Belozerov V.V. *Synergetics of safe life activity.* Rostov-on-Don: SFedU; 2015.
21. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. Retroforecast of fires and their consequences as a method for evaluating the effectiveness of innovations in the field of fire safety. *Security Issues.* 2017; 5: 55–70. Available from: doi: <https://doi.org/10.25136/2409-7543.2017.5.20698>.
22. Leontiev V., Ford D. Intersectoral analysis of the impact of the structure of the economy on the environment. *Economics and Mathematical Methods.* 1972; 8 (3): 370–399.
23. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. On spatio-temporal statistical analysis of fires. *Modern problems of science and education.* 2013; 4: 58.
24. Oleinikov S.N. To the justification of the fire taxation system for the prevention of fires and compensation for losses from them. *Modern technologies for civil defense and emergency response.* 2012; 1(3): 87–89.
25. GOST 12.1.004-91 Fire safety. General requirements. Moscow: Ed. Standards, 1992.
26. Badalyan L.Kh., Baranov P.P., Belozerov V.V., Pashchinskaya V.V., Rybalka A.I. “SARTET” – biotechnical, economic and legal macrosystem. In: *Economics of nature management and environmental protection: Proceedings of the VI International scientific and practical conference, 10–11 April 2003, Penza, Russia.* Penza: PDZ (MANEB); 2003. pp. 163–166.
27. Dyakonov V.P., Isachkov A.V., Kabanets E.E., Prisadkov A.I. *Automated system for processing statistical data on fires and fires. Application of mathematical research methods in matters of fire protection.* Moscow: VNIIPO; 1982. pp. 83–88.
28. Boguslavsky E.I., Belozerov V.V., Boguslavsky N.E. *Forecasting, assessment and analysis of fire safety.* Rostov-on-Don: RSSU; 2004.
29. Boguslavsky E.I., Glushko A.A., Azarov V.N. Proposals for improving the method of statistical analysis of injuries in construction. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture.* 2007; 7: 129–134.
30. Belozerov V.V. On the application of the law of large numbers in the statistical analysis of fires. *Technologies of technosphere safety.* 2010; 2(30): 8.
31. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. *A method for determining fire and electrical damage and fire hazards using an electric meter-detector.* Patent RF 2622558 dated 2012-07-09.
32. Oleinikov S.N. *Electric meter-detector of fire and electrical damage.* Patent RF 135437, 2013-12-10.
33. Azarov A.D., Badalyan L.Kh., Baranov P.P., Belozerov V.V., Bushkov M.A., Dolya V.K., Panich A.E., Pashchinskaya V.V., Reizenkind Ya.A., Shevchuk P.S. *A model for assessing and disposing of road traffic damage and a system for implementing it in a car.* Ministry of Education and Science of the Russian Federation and AvtoVAZ JSC). Research Report No. 02.06.004. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23406440> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
34. Azarov A.D., Badalyan L.Kh., Belozerov V.V., Denisenko P.F., Pashchinskaya V.V., Reizenkind Ya.A., Shevchuk P.S. “CASCAD” – an adaptive system for road safety. In: Boguslavsky E.I. (Ed.) *Engineering safety: Proceedings of the 7<sup>th</sup> All-Russian Scientific and Practical Conference.* Rostov-on-Don: RSSU; 2002. p. 191–197. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42875845> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
35. Belozerov V.V., Oleinikov S.N., Sukhachev A.V., Sukhachev A.V. Electric meter-fire and explosion detector. In: *Priority tasks and strategies for the development of technical sciences: Proceedings of the international scientific and practical conference.* Togliatti: “Evensis”; 2016. p. 12–15.
36. Belozerov V.V., Podoltsev V.V. Diagnostic tools for fire and energy damage in residential buildings and apartments. In: *Actual problems of science and technology – 2019: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference.* Rostov-on-Don: DSTU; 2019. p. 10–11.
37. Dolakov T.B., Oleinikov S.N. Model of an automated microsystem for accounting for energy resources and fire and explosion protection of the residential sector. *Electronics and Electrical Engineering.* 2018; 2: 48–72. Available from: doi: <https://doi.org/10.7256/2453-8884.2018.2.26131>.

38. Belozerov V.V., Videtskikh Yu.A., Vikulin V.V., Gavriley V.M., Meshalkin E.A., Nazarov V.P., Novakovich A.A., Prus Yu.V. "BACSAN-FA": fire ambulance. *Modern science-intensive technologies*. 2006; 4: 87–89.
39. Belozerov V.V. *Feasibility study of the "Communication Adaptive System for the Control of Road Traffic"*. Research Report No. TOO-13.0-2500 and TOO-13.0-2501 dated 03.03.2000 (Ministry of Education and Science of the Russian Federation). Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23406446> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
40. Aidarkin E.K., Belozerov V.V., Boguslavsky E.I. et al. Physico-chemical and chronobiological methods and technologies in the system of harm suppression and fire protection of CHP. *Modern high technology*. 2006; 4: 86–87.
41. Nazarenko A.A. Models and means of improving the efficiency and safety of thermal power facilities. *Electronics and Electrical Engineering*. 2018; 1: 8–18. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8884.2018.1.25724>.
42. Atmospheric water generator AQUAMATIC [Internet]. Available from: <https://dmsht.ru/voda-iz-vozduha-atmosfernnyy-generator/> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
43. Menshchikov E., Strizhenov E., Chugaev S., Shkolin A. Autonomous drinking water generation systems [Internet]. Available from: [https://s3.dtlr.ru/unti-prod-people/file/presentation/project\\_87if11tp96.pdf](https://s3.dtlr.ru/unti-prod-people/file/presentation/project_87if11tp96.pdf) [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
44. Debrin A.S., Bastron A.V., Ursegov V.N. Overview of solar panels and photovoltaic stations of domestic manufacturers. *Bulletin of KrasSAU*. 2018; 6: 136–141.
45. Russian and Chinese solar panels. Review of Hevel HVL-320/HJT and Seraphim Eclipse SRP-320-E01B [Internet]. Available from: <https://spares.ru/article/rossiyskie-kitayskie-solnechnye-batarei/> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
46. Atmospheric water generators [Internet]. Nizhnevartovsk: Soyuz LLC. Available from: <https://soyuze.nethouse.ru/products> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
47. Federal Law No. 35 of March 26, 2003 "On the Electric Power Industry"/ relevant for 2021. Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
48. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated October 25, 2017 No. 1013 "On approval of requirements for ensuring the reliability of electric power systems, reliability and safety of electric power facilities and power receiving installations "Rules for organizing maintenance and repair of electric power facilities". Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71807490/> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
49. Decree of the Government of the Russian Federation of 08.01.2009 No. 1-r "The main directions of state policy in the field of increasing the energy efficiency of the electric power industry based on the use of renewable energy sources for the period up to 2020". Available from: <http://government.ru/docs/20503/> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
50. Competitive selection of RES projects. Results of project selections / JSC ATS: 2013-2020 [Internet]. Available from: <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
51. Ponkratiev P.A. *Current state, potential and prospects for the development of wind energy in Russia /RusHydro* [Internet]. Available from: <http://electrowind.ru/images/rusgidro-vetroenergetika-rossija.pdf> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
52. Is mass alternative energy in Russia a reality? [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/317118/> (accessed 12/25/2021).
53. Federal Law No. 471 of December 27, 2019 "On Amendments to the Federal Law "On the Electric Power Industry" with regard to the development of microgeneration [Electronic resource]. Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280019#print> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
54. Belozerov V.V., Belozerov Vl.V., Dolakov T.B., Nikulin M.A., Oleinikov S.N. Nanotechnologies of "intellectualization" of accounting for energy resources and suppression of fire and energy damage in engineering systems of residential buildings (part 1). *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 95–107. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107>.
55. Federal Law "On state registration of real estate" of July 13, 2015 No. 218-FL Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182661/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/) [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].
56. Belozerov V.V. "Intelligent" system of ventilation and air conditioning in apartments of multi-storey buildings and in individual residential buildings with nanotechnologies for protection against fires and explosions. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(6): 650–666. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-650-666>.
57. Belozerov Vl.V., Sukhova Ya.V., Belozerov M.V. Problems of development of domestic multi-split systems for the residential sector. In: Shevchenko (Ed.) *Actual problems of science and technology – 2020: Proceedings of the national scientific and practical conference*. Rostov-on-Don: DSTU; 2020. p. 15–17.
58. Decree of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010 N 218 "On approval of the Rules for granting subsidies for the development of cooperation between Russian educational institutions of higher education, state scientific institutions and organizations in the real sector of the economy in order to implement integrated projects to create high-tech industries; (as amended by Decrees of the Government of the Russian Federation of 15.02.2021 No. 193) [Internet]. Available from: <http://www.p218.ru/images/2021/p218.pdf> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].

59. Decree of the Government of the Russian Federation of January 17, 2020 No. 20-r "On the Strategy for the Development of the Electronic Industry of the Russian Federation for the period up to 2030 [Internet]. Available from: <http://static.government.ru/media/files/1QkfNDghANiBUNBbXaFBM69Jxd48ePeY.pdf> [Accessed 6<sup>th</sup> March 2022].

60. Belozerov V.V., Dolakov T.B., Oleinikov S.N., Perikov A.V. *Synergetics of life safety in the residential sector*. Moscow: Publishing House of the Academy of Natural Sciences; 2017. Available from: doi: <https://doi.org/10.17513/np.283>.

61. Belozerov V.V., Belozerov Vl.V., Dolakov T.B., Nikulin M.A., Oleinikov S.N. Nanotechnologies of "intellectualization" of accounting for energy resources and suppression of fire and energy damage in engineering systems of residential buildings (part 2). *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(3): 171–180. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-3-171-180>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Valery V. Belozerov** – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automation of Industrial Processes, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, safeting@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6999-7804>

**Mikhail A. Nikulin** – Senior Lecturer of the Department of Technosphere Safety State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, pojark\_2003@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0002-7756-3456>

**Vladimir V. Belozerov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Automated Control Systems, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, isagraf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4758-1036>

#### CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Belozerov V.V.** – general scientific guidance; analytical review of "nature-like approaches", including the results of own research; adaptation of the retroforecast method to RES; conclusions.

**Nikulin M.A.** – adaptation of methods and models of "fire and energy damage" for the residential sector and patents for them to AES IRB; participation in the modeling of costs for AES IRB and in calculations using the retroforecast method.

**Belozerov Vl.V.** – participation in the simulation of SAES IRB; development of the structure and design, installation and commissioning functions of the branches of PPP enterprises; participation in calculations and design of sections.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 04.02.2022; approved after reviewing 02.03.2022; accepted for publication 05.03.2022.

Научная статья

УДК 697.97+614.844: 614.838

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>

CC BY 4.0

## О социально-экономической оценке реинжиниринга техносферы с помощью «природоподобных нанотехнологий»

Валерий Владимирович Белозеров<sup>1\*</sup> , Михаил Александрович Никулин<sup>2</sup> ,  
Владимир Валерьевич Белозеров<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup> Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: safeting@mail.ru

**АННОТАЦИЯ: Введение.** В последнее время в обиходе ученых и политиков появился термин «природоподобные технологии», к которым вполне заслуженно относят так называемые альтернативные источники энергии (солнца, ветра, тепла). При этом, несмотря на то, что установки, использующие указанные источники являются «сезонными» и низко концентрированными, их использование бурно и бессистемно развивается, и многие экономисты и политические деятели ошибочно рассматривают их в качестве базовых, дезориентируя бизнес. На основе анализа гносеологии происхождения термина «природоподобные технологии» в настоящей статье показана необоснованность и даже вред бурного и бессистемного использования ветрогенераторов. Приведены доказательства несостоятельности «мифов» о том, что природа неправляется с компенсацией хозяйственной деятельности человечества, поэтому, по мнению академика Сергеева С.М., президента РАН, требуется «реинжиниринг техносферы». При этом современная экономическая наука далека от учета в своих моделях ассимиляционных потенциалов биосфера регионов и функций производства энтропии в них, предпочитая моделировать различные «циклы и уклады», а также вычислять разные «коэффициенты», чтобы прогнозировать «кризисы и равновесия», без учета взаимодействия природы и социума. В связи с чем и возникает научно-техническая задача по определению «места реинжиниринга техносферы» в структуре систем жизнеобеспечения общества, а следовательно, оценка его эффективности. **Методы, модели и средства.** Для решения поставленных задач предложено использовать «метод ретропрогноза» социально-экономических потерь от внедрения «природных нанотехнологий», используя в качестве «инструментов» метод «пространственно-временного анализа», модели Леонтьева-Форда и системы адаптивного налогообложения «производства вреда», применение которых при решении проблем пожарной и экологической безопасности в «техносферах регионов» Юга России (в дорожно-транспортных инфраструктурах, в городах и населенных пунктах, в зданиях и сооружениях) доказали свою адекватность исследуемым процессам и полезность. **Результаты и обсуждение.** Представлены результаты моделирования затрат эффективности «реинжиниринга техносферы» в России, в частности индивидуальных жилых домов, и ретропрогноз изменения социально-экономических и экологических потерь при автономизации их ресурсоснабжения (электроэнергией, водой и теплом). Показано, что постановка на производство отечественных инноваций в этой области («Шуховских» ветрогенераторов, приборов конденсации атмосферной воды и электрообогрева) позволит прекратить «поголовную газификацию» сельских населенных пунктов, а также более экономно, чем за рубежом, реализовать в России децентрализованное снабжение ресурсами более 10 млн индивидуальных домов и около 40 млн дачных домиков, определив тем самым «истинное место альтернативной энергетики» в структуре Российских систем электро-, газо-, водо- и теплоснабжения. **Заключение.** Предлагаемый подход позволяет определить место так называемой возобновляемой энергетики в структуре систем ресурсоснабжения городов и сельских населенных пунктов. При этом не исключено, что появление более производительных конструкторских решений предложенных инноваций в области ветроэнергетики и солнечных батарей позволит расширить «автономизацию» на малоэтажные и многоквартирные дома в районных центрах и рабочих поселках городского типа, вместо капитального восстановления централизованных инженерных систем с котельными и мини-ТЭЦ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нанотехнологии автономизации, инженерные системы зданий, пожарно-энергетический вред, надежность, качество, безопасность.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Белозеров В.В., Никулин М.А., Белозеров Вл.В. О социально-экономической оценке реинжиниринга техносферы с помощью «природоподобных технологий» // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 119–136.  
<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>

## ВВЕДЕНИЕ

Как ни странно, но термин «природоподобные технологии» появился официально не в публикациях научного сообщества, а в выступлении Президента России на пленарном заседании 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН 28 сентября 2015 года [1].

Следует отметить, что отечественные публикации в этой области периодически появляются в течение последних 15 лет [2–9], но только в 2016 году президент НИЦ «Курчатовский институт», чл.-корр. РАН М.В. Ковальчук «расшифровал» и предложил использовать научному сообществу следующие термины [10]:

- «**природоподобные технологии**» – для обозначения принципиально новых методов и средств генерации и потребления энергии по образцу живой природы»;
- «**природоподобная техносфера**» – для описания ее нового облика, состоящего в восстановлении естественного самосогласованного ресурсооборота, который должен быть создан конвергентными нано-, био-, информационными, когнитивными и социогуманитарными технологиями (НБИКС-технологиями)».

После этого понятие «природоподобные технологии» появилось в Указе Президента РФ [11].

Однако академическое сообщество долго «не принимало в свой обиход» эти новые термины [12], продолжая до настоящего времени критиковать Ковальчука М.В. за упрощение указанных понятий [13–16]. А президент РАН академик Сергеев С.М. в своем выступлении в сентябре 2018 года в Сочи на Глобальном форуме конвергентных и природоподобных технологий заявил: «*Природоподобные технологии – это не новый тренд, и мы даже знаем по прошлому столетию, что это направление принимало различные названия (бионика, биогенетика и так далее). Я бы использовал термин «реинжиниринг природы». Природоподобные технологии – это тот реинжиниринг, которым надо гордиться*» [17].

Действительно, время от времени рождаются мифы о грядущих экологических катастрофах, связанных с потерей озонового слоя, потеплением климата за счет все увеличивающихся выбросов парниковых газов и грядущем «всемирном потопе». Возникают разного рода гипотезы по поводу нехватки в будущем воды, энергетических и минеральных ресурсов, продовольствия за счет утраты части земельных ресурсов и т.д. Но самым вредным является то, что утверждается мнение о деградации биосферы как структуры, с одновременной утратой ею функции поддержания жизни на Земле [15, 16].

Оценки состояния ассимиляционного потенциала биосферы позволяют сделать вывод о, мягко

говоря, преувеличении возможностей хозяйственной деятельности человека оказывать существенное влияние на ее структуру и функцию. Ассимиляционный потенциал биосферы по-прежнему выполняет свои функции по обеспечению сбалансированности круговорота вещества и энергии. Энергетический вклад хозяйственной деятельности человека остается несущественным по отношению к энергетическому потенциальному биосфере, накопившей его за миллиарды лет эволюции. Инертность биосфера, как способность сопротивляться возмущениям со стороны хозяйственной деятельности человека по массе и энергии, времени своего становления и развития, превышает их в миллионы раз [16, 18].

Природно-ресурсный потенциал биосфера остается высоким не только в части запасов энергии углеводородов, различных металлов, но и запасов возобновляемых источников – энергии солнца, ветра, воды, геотермальной энергии Земли и т.д., относительная доля которых возрастает в общем энергобалансе развитых стран. Тем не менее, несмотря на значительные экономические затраты и низкий КПД, а также на то, что многие из них являются нестабильными, низко концентрированными и периодическими источниками, многие специалисты и политики ошибочно рассматривают их в качестве базовых, в том числе с точки зрения сохранения качества окружающей природной среды [16, 19].

Связь человека с природой определяется давлением хозяйственной деятельности человека на природу (путем изъятия ресурсов, производства отходов и т.д.). Природа отвечает на это человеку изменением своего качества строго по принципу действия и противодействия, стимулируя, таким образом, человека к нахождению таких решений, которые не нарушают естественные процессы воспроизводства качества среды за счет круговорота неживого и живого вещества. Природа в своем развитии вообще никаких выборов не делает, она изменяется по собственным законам самоорганизации, по законам самосохранения и случайных событий [16, 18].

Нельзя привязывать природу к социуму, в т.ч. к неестественным технологиям, и говорить о социо-природном развитии. У них разные законы: у природы – только естественные, а у человека – и естественные, и социальные, и технические.

У человека и общества есть цель неограниченного развития и не ограниченного во времени существования, а у природы цели нет. Гомеостаз природы – в ее законах сохранения. Таким образом, в объединении понятий природа и социум, в частности, в природоподобные технологии и в природоподобную техносферу, заложено неразрешимое внутреннее противоречие [16, 18].

Дело в том, и это главное, что выбросы от хозяйственной деятельности (тепло, влага, газы, сажа и т.д.) в атмосферу и биосферу человек осуществляет с разной интенсивностью и локально, на относительно малой части поверхности Земли. Именно локальные тепловые и материальные выбросы, содержащие «неестественные» количества токсичных газов, влаги и пыли, приводят к ощутимым возмущениям в атмосфере. Возникают климатические аномальные потоки, вносящие дисбаланс в вековые его вариации, которые обязательно будут сглажены во времени в силу инерционности биосферы в целом. Однако локальное уравновешивание может произойти либо медленно и незаметно, либо скоротечно. И в последнем случае возврат системы в исходное состояние климата в конкретном пространстве (регионе) может быть более жестким (катастрофическим), чем выход из сбалансированного ранее состояния. Все зависит от механизма сочетаний случайных флуктуаций, которые могут создавать резонансные климатические эффекты, приводящие к неожиданным последствиям [16].

Например, возрастание случаев торнадо и ураганов в Мексиканском заливе и в других частях США, а также в Западной Европе, возможно, связано не только с выбросами, но и со строительством высотных зданий и сооружений, а также ветряных электростанций (ВЭУ), отнимающих кинетическую энергию ветра. В первом случае вековые направления сезонных ветров могут быть изменены за счет возникновения приземных препятствий на пути воздушных потоков, что непременно приведет к скоротечным флуктуациям в атмосфере и вызовет локальные захвичивания (турбулентность) в нижней части атмосферы. Во втором — отъем кинетической энергии ВЭУ также приведет к изменению вековых циркуляций в регионе и приведет к непредсказуемым локальным возмущениям в атмосфере. Таким образом, любые вмешательства человека в естественный ход событий в атмосфере Земли неизбежно вызовет последствия, которые в локальном плане могут быть более ощутимы, чем в глобальном. Поэтому погоня за нетрадиционными источниками энергии не решает проблемы сохранения качества окружающей природной среды, из-за действия принципов самоорганизации и законов сохранения, действия и противодействия [18, 19].

Биосфера по-прежнему остается сбалансированной системой, несмотря на все увеличивающееся давление на ее структуру и функцию со стороны человека. А это означает, что обменные процессы в биосфере должны увеличивать свою скорость пропорционально возникающим нагрузкам на основе закона действия и противодействия, на основе принципов синергизма. Изменение климата на Зем-

ле является ответной реакцией структуры и функции биосферы на возмущения, которые вызывает хозяйственная деятельность человека, поскольку атмосфера более чувствительна к энергетическим возмущениям, чем гидросфера, а последняя более чувствительна, чем обменные процессы, происходящие в геосфере. При этом не столь важны глобальные изменения (их труднее заметить и вычленить), сколько региональные или даже локальные флуктуации, которые могут привести к спонтанному изменению направленности и интенсивности обменных процессов в биогеоценозах — элементарных составляющих биосферы. И хозяйственная деятельность человека не должна рассматриваться вне структуры и функции биосферы и представляться как внешний возмущающий фактор. Он является внутренним, принадлежащим самой биосфере, поскольку человек не может выделить свою деятельность из нее и является не только ее подсистемой, но и фактором эволюции, провоцирующим изменение среды. В рамках теории эволюции изменение среды ведет к изменению структуры экосистем, и живые организмы, приспособливаясь к новым условиям, конкурируют за выживание в экологической нише человека. Поэтому осознание человеком своего места в природе накладывает на него обязанности не только следовать законам природы, но и делать осознанный выбор в темпах своего развития, сообразуя их с темпами воспроизводства природных ресурсов и качества природной среды в рамках ассимиляционного потенциала биосферы в глобальном плане и ассимиляционного потенциала окружающей среды — в локальном. Поэтому в будущем, используя достижения науки и технологий, человечество сможет использовать энергетический потенциал биосферы и перейти на модель адаптивного природопользования в рамках коэволюции техносферы с биосферой, для чего потребуется энтропийный подход, для определения оптимальных термодинамических параметров такой адаптации и «реинжиниринга техносферы», в частности [2, 7, 18].

Совершенно очевидно, что современная экономическая наука далека от учета в своих моделях ассимиляционных потенциалов биосферы регионов и функций производства энтропии в них, предпочитая моделировать различные «циклы и уклады», а также вычислять разные «коэффициенты», чтобы прогнозировать «кризисы и равновесия» без учета взаимодействия природы и социума, оперируя только инвестициями и создаваемыми благами (публичными, коллективными и частными), наверное, потому что не понимает диалектического единства с их противоположностью — вредом (публичным, коллективным и частным), т.е. невозможности соз-

дания благ без одновременного производства вреда [2, 15].

Единственно приемлемым способом решения таких задач является, на наш взгляд, метод ретропрогноза безопасной жизнедеятельности [20, 21] со следующими «инструментами»:

- моделью Леонтьева-Форда, адаптированной для определения затрат на подавление дорожно-транспортно-энергетического и экологического вреда в регионе, и, следовательно, прогноза безопасности дорожно-транспортно-энергетических инфраструктур при внедрении инноваций в них [22];
- методом «пространственно-временного анализа» социально-экономических потерь от пожаров в регионах для определения сокращения ущерба при подавлении пожарно-энергетического вреда в их техносфере и биосфере, и ретропрогнозом пожарной безопасности жизнедеятельности при внедрении инноваций в них [23];
- моделью системы адаптивного налогообложения «производства вреда» в регионе вместо различных «страховых систем», для целевого расходования получаемых средств на инновации, которые призваны повысить безопасность жизнедеятельности населения в регионах до уровня 0,999999, требуемого стандартом [24, 25].

## МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРЕДСТВА

Если модель Леонтьева-Форда достаточно хорошо известна в мировой экономической науке и остается только «включить» в нее параметры ассилиационных потенциалов биосферы регионов и функции производства энтропии в них, то метод ретропрогноза [20, 21] и модели систем адаптивного налогообложения для техносферы [24], по мнению авторов, малоизвестны, хотя и были опубликованы, а система адаптивного дорожно-транспортно-экологического налогообложения (САДТЭН) была предложена ростовскими учеными вместо «автогражданки» на слушаниях в Совете Федерации 7 июня 2004 года, но так и не получила поддержки [20, 26].

**Принципиальное отличие метода ретропрогноза** от всех других способов прогнозирования заключается в том, что вектор прогноза устремляется из «текущего» в «прошлое», и его фазовое пространство строится не на «воображаемых данных», дисперсия которых велика и корректно определяется с трудом, а на «исторических», т.е. на статистически достоверных событиях в прошлом (пожарах, дорожно-транспортных происшествиях, гибели, травмах, материальном ущербе, уничтоженных объектами и площадями и т.д.), в т.ч. на причинах пожаров и ДТП, а также параметрах выполнения «аварийными службами»

оперативно-тактических задач (радиусами выезда, временами обнаружения, прибытия, локализации и т.д.), которые установлены экспертами и зафиксированы документально, т.е. на данных с практически «нулевой дисперсией».

Первоначально метод ретропрогноза был отработан на массивах автоматизированной системы обработки данных о пожарах (АСОД «ПОЖАРЫ»), которая была разработана во ВНИИ противопожарной обороны в 80-х годах прошлого века [27] и «поставлена на вооружение» МВД РФ с 1995 года, а затем доработана в МЧС России и введена нами в учебный процесс подготовки специалистов пожарной безопасности в Ростовском государственном строительном университете [28].

Разработанный в университете комплекс программ позволял осуществить коррелированную выборку данных, реализуя «пространственно-временной анализ» деятельности любого гарнизона пожарной охраны России (рис. 1) с помощью распределений Эрланга (1,2), после чего осуществлялся синтез «новых распределений в прошлом», с учетом внедряемых инноваций [28, 29]. При этом сокращение социально-экономических потерь от пожаров при внедрении инноваций, устранивших определенные причины и источники пожаров, а также их распространение определялось через вычисление разностей «текущих и новых распределений в прошлом» (гибели, травм, ущерба, поврежденных и уничтоженных площадей и т.д.) [30].

$$y = \frac{\left(\frac{t}{c}\right)^{b-1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{c}\right)}{c \cdot [(b-1)!]} \text{ и}$$

$$y = \frac{\left(\frac{R}{c}\right)^{b-1} \cdot \exp\left(-\frac{R}{c}\right)}{c \cdot [(b-1)!]} \quad (1)$$

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{t}{c}\right) \cdot \left[ \sum_{i=0}^{b-1} \frac{(t/c)^i}{i!} \right] \text{ и}$$

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{R}{c}\right) \cdot \left[ \sum_{i=0}^{b-1} \frac{(R/c)^i}{i!} \right], \quad (2)$$

где  $b/c$  – максимум функции,  $(b+\sqrt{b})/c$  – «правая» точка перегиба,  $(b-\sqrt{b})/c$  – «левая» точка перегиба.

Системный анализ функционирования жилого сектора техносферы (на примере инженерных систем многоквартирных зданий и индивидуальных жилых домов) позволил обнаружить процессы «превраще-

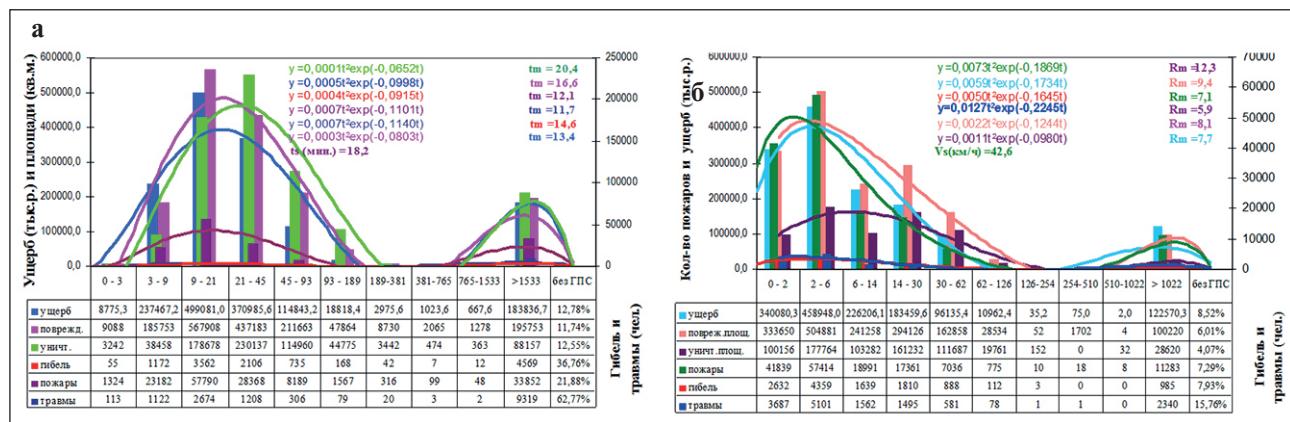


Рис. 1. Функции плотности вероятностей: а – временем свободного горения (мин.); б – радиусов выезда (км)

ния потребляемых коллективных и частных благ» (электроэнергии, газа, тепла и т.д.) «в коллективный и частный вред» с помощью электрических, газовых и сантехнических приборов (далее бытовых приборов). После чего был разработан способ измерения пожарно-электрического вреда [31] и электросчетчик-извещатель, отключающий (при пожароугрожающем режиме потребления) электроснабжение квартиры/индивидуального жилого дома, с ранним обнаружением опасных факторов пожара и «сотовым оповещением» пожарной охраны [32], которые были защищены патентами РФ.

Это позволило обосновать и создать модель системы адаптивного налогообложения пожарно-электрического вреда [24] вместо очередного «экономико-правового фокуса» – страхования гражданской ответственности физических и юридических лиц («пожарогражданки»), которая, как это было доказано на примере страхования гражданской ответственности собственников автотранспорта («автогражданки»), никак не влияет на безопасность движения и экологию [33, 34].

Дальнейшие исследования позволили дополнить вышеуказанный способ газовым счетчиком и вывести единую формулу определения пожарно-энергетического вреда (3) и местного адаптивного пожарно-энергетического налога (АПЭН) для потребителей (4) энергоресурсов (электроэнергии, газа, угля, солярки и т.д.) [24, 35, 36]:

$$\text{ПЭВ} = k_{\text{Дж}} \cdot (P_{\text{д}} \cdot W_{\text{д}} + P_{\text{нд}} \cdot W_{\text{нд}}) + q_{\text{г}} P_{\text{г}} \cdot W_{\text{г}}, \quad (3)$$

где ПЭВ – пожарно-энергетический вред за время  $t$ , МДж;  $P_{\text{д}}$  – вероятность пожара от электроприборов при допустимом качестве электроэнергии;  $W_{\text{д}}$  – количество потребленной электроэнергии с допустимым качеством, КВт/ч;  $P_{\text{нд}}$  – вероятность пожара от электроприборов при недопустимом качестве электроэнергии;  $W_{\text{нд}}$  – количество потребленной

электроэнергии с недопустимым качеством, КВт/ч;  $k_{\text{Дж}}$  – коэффициент перевода киловатт/час в Джоули (3,6 МДж),  $P_{\text{г}}$  – вероятность пожара от газовых приборов;  $q_{\text{г}}$  – теплотворная способность газа (35 мДж/м<sup>3</sup>);  $W_{\text{г}}$  – объем потребленного газа, м<sup>3</sup>.

$$\text{АПЭН} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \cdot V_i \cdot P_i}{K_p}, \quad (4)$$

где  $T_i$  – соответствующие тарифные ставки в регионе за «п» энергоресурсов, руб;  $V_i$  – фактически потребленный объем энергоресурсов за период налогообложения, КВт/ч, тонна, кубометр и т.д.;  $P_i$  – текущие статистические вероятности пожаров в регионе от бытовых приборов,  $K_p$  – «коэффициент адаптивности», который при начале внедрения АПЭН равен 1, а затем увеличивается, снижая налог, синхронно с повышением пожарной безопасности населения в регионе до 0,999999 по ГОСТ 12.1.004.

Моделирование затрат на внедрение первоочередных инноваций (электро-газо-счетчиков-извещателей, самоспасателей и т.д.) и ретропрогноз пожарной безопасности жилого сектора по Югу России (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края) показал, что за счет АПЭН и сокращения потерь от предотвращенных и обнаруженных на ранних стадиях пожаров можно достичь требуемого уровня безопасной жизнедеятельности населения в жилом секторе, где происходит, в среднем, 70% пожаров [21].

Интересен, по мнению авторов, итоговый результат «моделирования в прошлое» по Югу России [20, 37, 38]:

«Если бы в 1995 году на Юге России были начаты работы по внедрению «стартовой» структуры или, как это принято в АСУ, 1-й очереди макросистемы обеспечения пожарной безопасности (МСО ПБ), интенсифицирующей профилактическую деятельность,

## ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

то к 1998 году удалось бы предотвратить 23 620 пожаров, тем самым сохранить жизнь 2528 и здоровье 2771 жителю Юга России, сократить прямые и косвенные потери от пожаров на общую сумму в 32,1 млрд руб., спасти от уничтожения 93 163 кв. м. и от повреждения 140 733 кв. м. жилых и производственных площадей, обеспечивая текущие затраты на функционирование МСО ПБ, в размере 5,9 млрд руб. в год за счет сокращения ежегодных потерь от пожаров и за счет АПЭН в размере 18,828 млрд руб. (6276,0 млрд руб. в год), окупив за три года 25,4 млрд руб. единовременных затрат. Однако вероятность гибели и травм, снизившись в 2,5 раза, составила бы  $7,62 \cdot 10^{-5}$ , что в 76 раз превышает допустимый уровень безопасности населения при пожаре (0,999999). Следовательно, в следующей 2-й очереди МСО ПБ необходимо дополнить 1-ю очередь моделями, повышающими безопасность людей на пожарах»;

«Если бы в 1999 году на Юге России были продолжены работы по внедрению 2-й очереди макросистемы МСО ПБ, интенсифицирующей оперативно-тактическую деятельность, то к 2001 году удалось бы предотвратить 33 869 пожаров, тем самым сохранить жизнь 2865 и здоровье 3664 жителям Юга России, сократить прямые и косвенные потери от пожаров на общую сумму в 33,1 млрд. руб., спасти от уничтожения 132 083 кв. м. и от повреждения 250 553 кв. м. жилых и производственных площадей, обеспечивая текущие затраты на функционирование МСО ПБ в размере 13,82 млрд руб. в год, за счет сокращения ежегодных потерь от пожаров и за счет АПЭН в размере 18,828 млрд руб. (6276,0 млрд руб. в год), окупив за те же три года все единовременные затраты, а «сэкономленные» 15,9 млрд руб. направить на внедрение моделей самоорганизации, т.к. вероятность гибели и травм после внедрения 2-й очереди составит  $1,2 \cdot 10^{-5}$ , что в 12 раз превышает допустимый уровень безопасности населения»;

«Если бы в 2002 году на Юге России были продолжены работы по внедрению 3-й очереди МСО ПБ с перевооружением пожарной охраны (добровольной и профессиональной) на технику «атмосферного азотного пожаротушения», то в течение 6 лет, т.е. к 2008 году, удалось бы предотвратить 64 676 пожаров и их распространение, тем самым сохранить жизнь 6544 и здоровье 6533 жителям Юга России, сократить прямые и косвенные потери от пожаров на общую сумму в 841,359 млрд руб., спасти от уничтожения 235 236 кв. м. и от повреждения 733 745 кв. м. жилых и производственных площадей, обеспечивая текущие затраты на функционирование МСО ПБ, в размере 17,9 млрд руб. в год за счет сокращения ежегодных потерь от пожаров и за счет АПЭН в размере 37,656 млрд руб. (6276,0 млрд руб. в год), окупив за те же шесть лет все единовременные затраты, а «сэкономленные»

97,4 млрд руб. направить на создание объединенной геоинформационной системы (ГИС) Юга России, т.к. расчеты показали, что вероятность гибели и травм, снизившись за 6 лет еще в 9 раз, составит  $1,34 \cdot 10^{-6}$ , что в 1,35 раза превышает допустимый уровень безопасности населения при пожаре (0,999999)».

Иными словами [20, 21], «без внедрения остальных моделей, требующих ГИС, а следовательно, взаимодействия и самоорганизации всех служб жизнеобеспечения и администраций региона, невозможно достичь нормативного уровня безопасной жизнедеятельности людей в регионе».

Аналогичные результаты были получены на основе системного анализа действующих правовых, технических, экономических, организационных и социальных мер, определяющих безопасность дорожного движения, путем ретропрогноза уже по адаптированной модели Леонтьева-Форда [20, 22, 34], при виртуальном внедрении «Коммуникационной адаптивной системы контроля автотранспортного движения» (КАСКАД), целевой функцией управления у которой является функция производства энтропии передвижения в дорожно-транспортных инфраструктурах, определяющая вероятность дорожно-транспортно-экологического вреда, и при достижении минимума которой происходит максимальное его подавление, что обеспечивает требуемый уровень безопасности населения – 0,999999 [39].

Анализ существующих дорожно-транспортных инфраструктур позволил синтезировать новые принципы их формирования, «отслеживающие» и минимизирующие энтропию передвижения в них через функцию суммарного «производства энтропии» ( $\Delta S = \sum_i S / \partial Y_i \cdot dY_i / dt$ ), которую связывают с вероятностью возникновения флуктуаций по Пригожину, т.е. «дорожно-транспортного вреда», формула Эйнштейна [20, 39]:

$$P = B \exp(\Delta S / k), \quad (5)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана.

Оказалось, что дорожная структура, включая качество дорожных покрытий, не является главной в причинах и последствиях дорожно-транспортных потерь ( $S \rightarrow \min$ ,  $\Delta S \rightarrow 0$ ,  $P \rightarrow B$ ). И это означало, что при отсутствии транспорта дороги практически безопасны, а дорожно-транспортный вред (ДТВ) зависит [6, 9, 39]:

- от количества ( $\partial_1 S / \partial N_j \cdot dN_j / dt$ ), скорости ( $\partial_2 S / \partial V_j \cdot dV_j / dt$ ), веса ( $\partial_3 S / \partial P_j \cdot dP_j / dt$ ) и колесной формулы транспортных средств ( $\partial_4 S / \partial J_j \cdot dJ_j / dt$ ),
- от вида и количества расходуемого ими топлива ( $\partial_5 S / \partial M_j \cdot dM_j / dt$  – через условную тонну топлива),
- от количества ( $\partial_6 S / \partial n_j \cdot dn_j / dt$ ) и скорости передвижения пешеходов ( $\partial_7 S / \partial v_j \cdot dv_j / dt$ ).

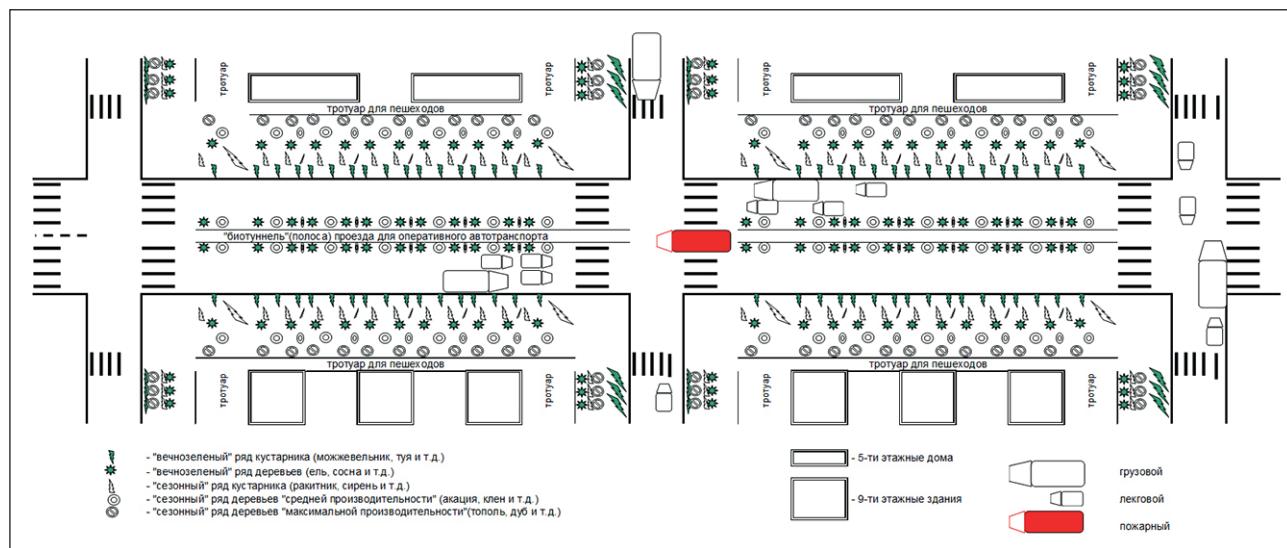


Рис. 2. Биоархитектура дорожно-транспортной сети

Экономической подсистемой в макросистеме «КАСКАД» является Система адаптивного дорожно-транспортно-экологического налогообложения в регионе («САДТЭН»), которая позволяет сформировать средства на создание, развитие и функционирование такой макросистемы без внешних инвестиций [26, 39].

Оптимальность и адаптивность вводимого адаптивного дорожно-транспортно-экологического налога, который должен быть «местным налогом» (вместо всех дорожно-транспортных, включая автострахование), заключается в четком разграничении, учете и компенсации ДТВ «налогооблагаемой базой», т.к. зависит и рассчитывается для конкретной дорожно-транспортной инфраструктуры района (города) по «сезонной производительности» экосистем, численности населения и транспорта, динамики их передвижения, включая введение за счет АДТЭН бесплатных пассажирских перевозок, т.е. «превращение пассажирского транспорта в публичное благо» [20, 33]. При этом «сезонность» производительности экосистем реализуется с помощью биоархитектуры дорожно-транспортной сети (рис. 2), путем специальной посадки деревьев и кустарников – «биотуннелей», поглощающей ДТВ и, следовательно, зависящей от интенсивности движения транспорта и пешеходов, включая их сезонные изменения [6, 9].

Интересен, по мнению авторов, итоговый результат «моделирования в прошлое» по г. Ростову-на-Дону [20, 39]: «Если бы в 1994 году в Ростове-на-Дону был начат государственно-правовой эксперимент по созданию «КАСКАД», то на разработку и освоение производства необходимых технических средств и организационно-правовых мероприятий

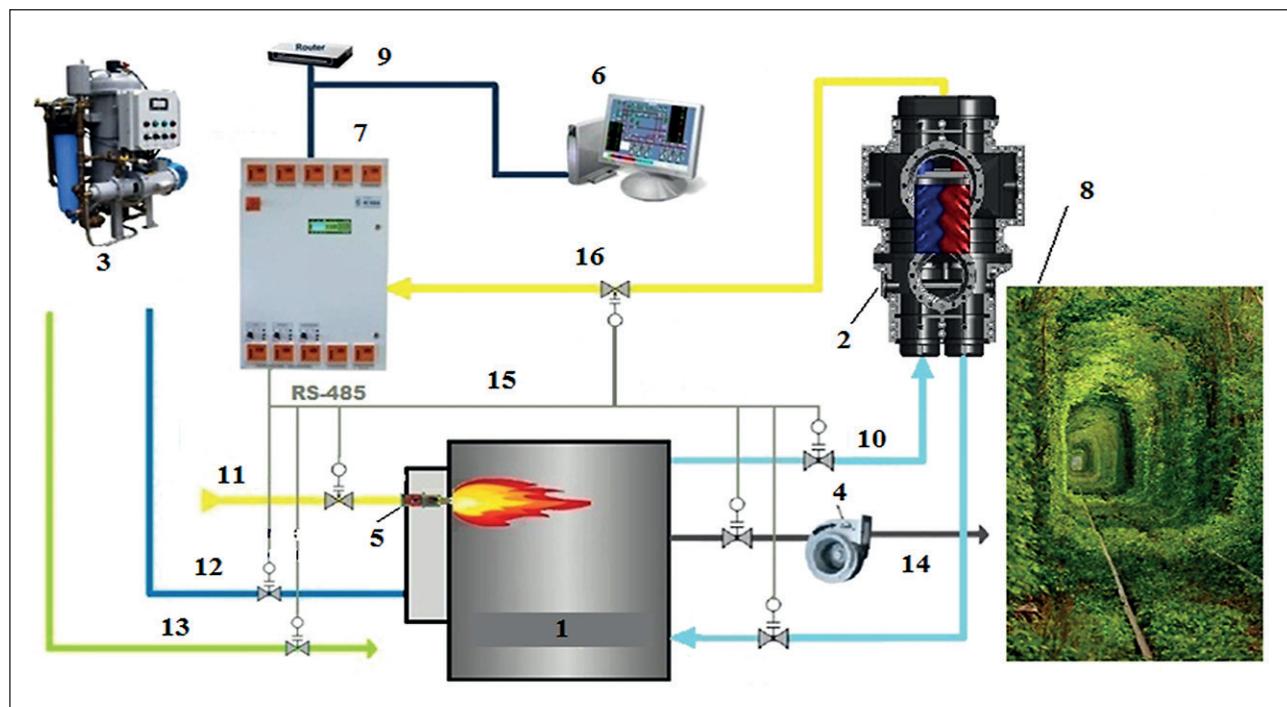


Рис. 3. Внешний вид городской ТЭЦ

допускалось потратить 550,0 млн руб., и при этом система окупилась бы за счет снижения прямого и косвенного материального и морального ущерба, наносимого населению и окружающей природной среде автотранспортом г. Ростова-на-Дону, если ее строительство осуществить в течение 8 лет и потратить 14,5 млрд рублей. Иными словами, за счет полученных средств АДТЭН с 1994 по 2002 год и сокращения потерь от ДТВ можно было осуществить «коэволюцию техносферы и биосферы» в дорожно-транспортной сети г. Ростова-на-Дону».

Аналогичная «коэволюция природы и техносферы» была предложена для тепловых электростанций и централей (ТЭЦ), которые (рис. 3) после автотранспорта занимают «2-е место по эмиссии  $H_2O$ ,  $CO_2$  и других токсичных газов» в атмосферу и «1-место по выжиганию  $O_2$  из нее [40].

Синтез системы «ПАРСЕК» (противопожарной, адаптивного регулирования и сепарации энергетического вреда и компенсации выжигаемого кисло-



**Рис. 4. Блок-схема системы «ПАРСЕК»:** 1 – котел на элегазе (R-510); 2 – паро-винтовая машина (ПВМ); 3 – мембранный сепаратор воздуха; 4 – дымосос; 5 – ультразвуковая форсунка (для мазута); 6 – рабочая станция диспетчера; 7 – многофункциональный контроллер (МФК) с модулями ввода-вывода АСУТП; 8 – биотуннель (вместо дымовой трубы); 9 – роутер; 10 – парогазовая фаза R-510; 11 – углеводородное топливо (газ, мазут и т.д.); 12 – воздух, обогащенный кислородом после сепарации азота; 13 – азот, сепарированный из воздуха для системы подавления пожарно-энергетического вреда и опасных факторов пожара и взрыва; 14 – выбросы от сгорания топлива в биотуннель; 15 – сеть удаленных «интеллектуальных» модулей МФК; 16 – электроэнергия для собственных нужд от ПВМ

рода) был осуществлен (рис. 4) на базе следующих инновационных решений [40, 41]:

- во-первых, вместо воды в котле турбин было предложено использовать соответствующие фазовые состояния элегаза (R-510), который имеет более высокие характеристики, чем вода, и при его использовании отпадает необходимость в системе химводоочистки – затратной и трудоемкой в эксплуатации, что резко снижает себестоимость производства электроэнергии и тепла;
- во-вторых, вместо воды в системе противопожарной защиты ТЭЦ было предложено использовать азотную мембранный установку, для подавления азотом пожарно-энергетического вреда, контролируемого системой (в кабельных каналах, в стойках электрооборудования, хранилищах ГСМ и т.д.), что позволило накапливать и использовать сепарированный из воздуха кислород, который в совокупности с ультразвуковыми форсунками впрыска топлива обеспечивал его полное сгорание, снижая токсичные компоненты выбросов;
- в-третьих, доработка и применение паро-винтовых машин под элегаз обеспечивало ТЭЦ каче-

ственной электроэнергией для собственных нужд, что повышало отказоустойчивость электрооборудования, а также независимость от внешнего электроснабжения;

- в-четвертых, и это главное – применение «биотуннелей» вместо дымовых труб, с соответствующей обсадкой их венозелеными деревьями и кустарниками, в т.ч. безгашной коноплей, поглощающей окись углерода, позволяют «перевести» тепловые электростанции и ТЭЦ в «класс экологически чистых», а развертывание на их территории биогумусных и биотермических участков по переработке опада деревьев и кустарников, в т.ч. и из дорожно-транспортных инфраструктур, позволяло начать процессы, восстановления семилетнего цикла круговорота углерода в системе «атмосфера-биосфера-геосфера», а также сезонных циклов круговорота воды и кислорода в системе «атмосфера-биосфера-гидросфера».

Интересны, по мнению авторов, планы 15-тилетней давности (конечно же, не реализованные) по внедрению системы «ПАРСЕК» [40]:

«В настоящее время система «ПАРСЕК» планируется к разработке и внедрению по программе «СТАРТ-2006» на одной из ростовских котельных и, по предварительным расчетам, должна снять проблему экологической опасности с ТЭЦ. Уверенность в реализации проекта создает участие в нем крупнейших отечественных научно-производственных предприятий: ФГУП НПП «Геофизика-Космос» (Москва), ФГУП ОНПП «Технология» (Обнинск) и успешно развивающихся компаний: ООО «ВМ-энергия» (Уфа), НИПК «Элегаз» (Москва) и НПО «Биотехнология» (Ростов н/Д), а также ведущих отечественных вузов и НИИ в этой области: РГУ (Ростов н/Д), Академия ГПС МЧС РФ (Москва), РГСУ (Ростов н/Д) и Краснодарский НИИ им. П.П. Лукьяненко».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Локализовать и подавить пожарно-энергетический вред в индивидуальных жилых домах (рис. 3), которых в России порядка 10 млн. (плюс около 40 млн садовых и дачных домиков), как показали наши исследования, можно путем автономизации электро- и водоснабжения из альтернативных источников (ветра, солнца, атмосферы) с помощью «природоподобных нанотехнологий» [19].

Принимая во внимание вышеуказанный объем индивидуальных жилых домов в России, а также отличия в структуре, в производительности (рис. 5) и в стоимости (таб. 1) комплектующего оборудования (на порядок и более), возникают следующие научно-технические задачи:

- во-первых, необходимо оценить затраты на такой «реинжиниринг техносфера» в России, при импортной и отечественной комплектации,

- во-вторых, выполнить ретропрогноз эффективности такого реинжиниринга техносферы в России;
- в-третьих, провести сравнительный анализ эффективности при импортной и отечественной комплектации;
- в-четвертых, промоделировать условия реализации оптимального варианта в России.

### Затраты при импортной и отечественной комплектациях

Как следует из сравнительных данных ветрогенераторов (таб. 1), стоимость китайского ветрогенератора мощностью 1,0 КВт составляет 100,0 тыс. руб., стоимость аппарата питьевой воды «АКВАМАТИК» – 80,0 тыс. руб. [42], комплект гидропанелей (рис. 6) с производительностью 10 л. в день «ZERMASS» стоит 380,0 тыс. руб. [43], а одна китайская солнечная батарея в 300 Вт SRP 320 – 18,5 тыс. руб. [44, 45].

Таким образом, затраты на один индивидуальный жилой дом в импортной комплектации для дублированной системы составят – 634, 0 тыс. руб.

Как следует из сравнительных данных ветрогенераторов (таб. 1), стоимость «Шуховского ветрогенератора» мощностью 1,0 КВт составляет 1,9 тыс. руб., стоимость бытового атмосферного генератора воды Т-88 «Союз» (рис. 7) с производительностью 30 л в сутки – 115,0 тыс. руб. [46], комплекта отечественных гидропанелей «UNISORB» (рис. 5) с производительностью 10 л в день – 120,0 тыс. руб. [43], одной отечественной солнечной батареи в 290 Вт HEVEL – 23,7 тыс. руб. [44, 45].

Следовательно, затраты на один индивидуальный жилой дом в отечественной комплектации для дублированной системы составят – 331,7 тыс. руб., т.е. почти в два раза меньше. И остается оценить объ-

**Таблица 1**  
**Сравнительные характеристики ветрогенераторов**

Параметр	Ветрогенератор крыльчатого типа	Ветрогенератор с вертикальной осью	Ветрогенератор «Шухова»
Мощность, КВт	1,0	1,0	1,0
Габариты, мм	диаметр – 2800 (круг, описываемый лопастями)	диаметр – 454, высота лопастей – 4000	диаметр – 520, высота – 850
Масса, кг (ветродвигатель + генератор)	70	98	43
Сила ветра при страгивании, м/сек	2,0	3,0	1,0
Частота вращения об/мин	300...400	180...300	600...900
Комплектация	ветровая турбина, генератор, аккумулятор, инвертор, кабельная сборка, мачта с растяжками	ветровой ротор, генератор, выпрямитель, контроллер, кабельная сборка, мачта с растяжками	ветровая турбина, генератор, трансформатор
Стоимость, евро	1300 (Китай)	3350 (Украина)	250 (Россия)

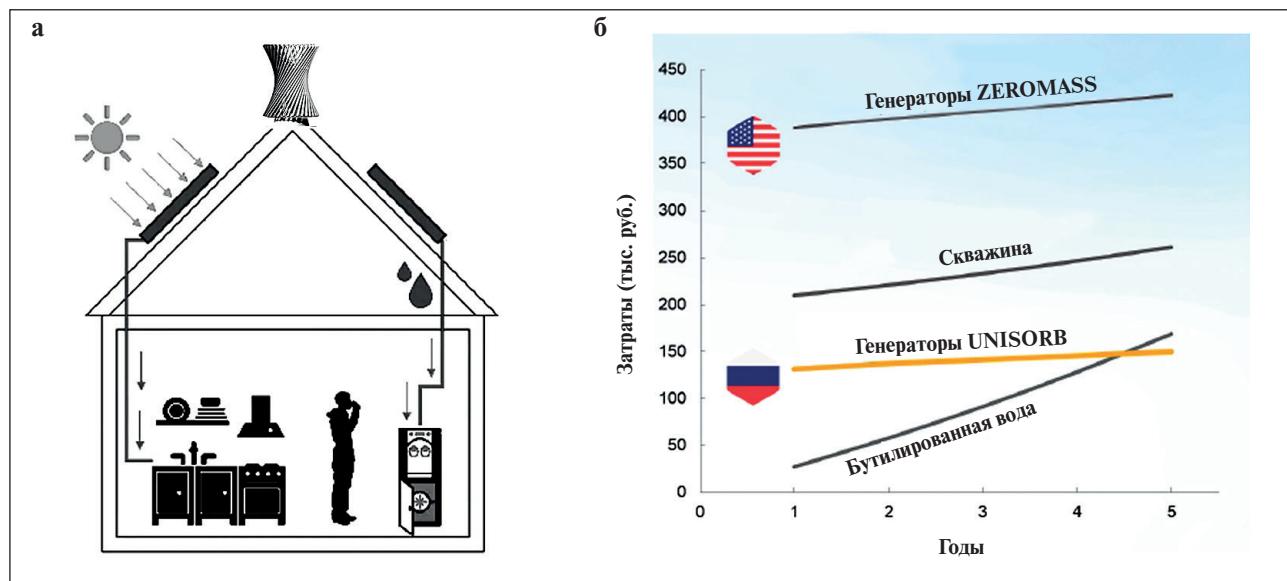


Рис. 5. Схема варианта автономизации (а) и графики затрат на источники воды (б)

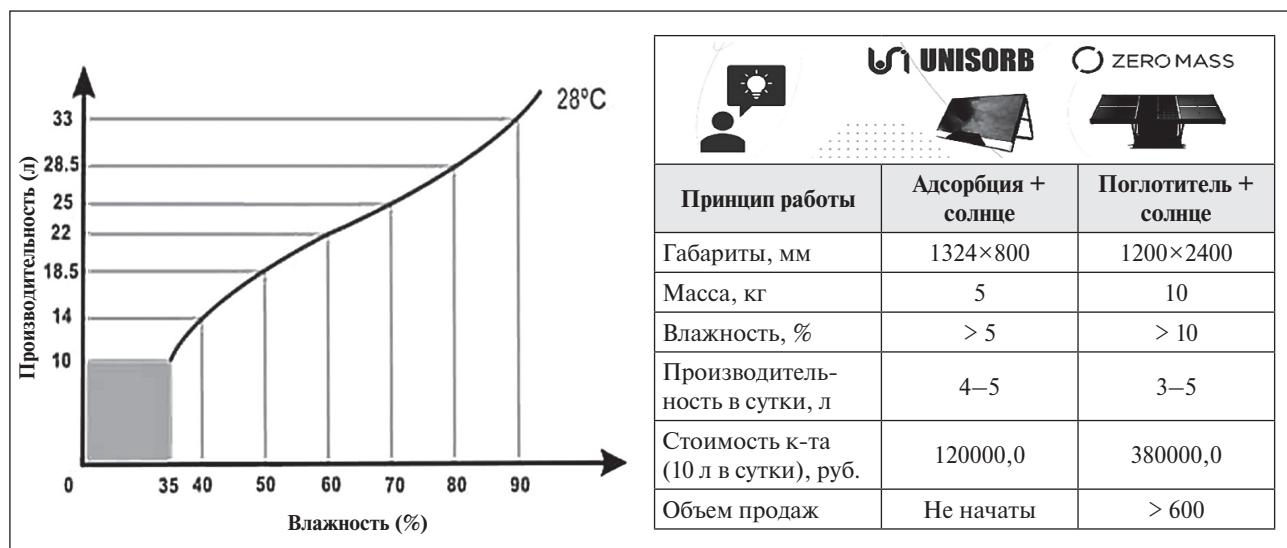


Рис. 6. Характеристики и диаграмма производительности гидропанелей

емы финансирования предлагаемой автономизации и ее вклада в существующую генерацию и доставку электроэнергии, воды и тепла населению России.

#### Объемы необходимого финансирования и генерации получаемых ресурсов (электроэнергии, воды и тепла) при автономизации

Если рассматривать только капитальные индивидуальные жилые дома, то для установки в них автономных инженерных систем обеспечения ресурсами (электроэнергией, водой и теплом) в импортной комплектации (без затрат на монтаж) потребуется – 6,34 трлн. руб. В этом случае получим

следующие объемы ресурсов, произведенных с помощью нанотехнологий в индивидуальных жилых домах в течение года:

водоснабжение питьевой водой – 73 млрд литров или 73 млн куб. м.;

водоснабжение горячей водой – 7,3 млрд литров или 7,3 млн куб. м.;

электроснабжение – 192,72 млрд кВт/ч;

теплоснабжение – 102,6 млн Гкал (за отопительный сезон в 6 месяцев –  $0,0342 \cdot 6 \cdot 50 = 10,26$ ).

Для оснащения остальных 40 млн. дачных и садовых домиков потребуется еще 25,36 трлн руб., и суммарный объем произведенных ресурсов в год составит:



Производимая вода	Питьевая, горячая и холодная
Мощность общая, Вт	1000–1150
Мощность нагрева, Вт	500
Мощность охлаждения, Вт	500
Температура холодной воды, °C	4–10
Температура горячей воды, °C	75–93
Тип хладагента и его кол-во, г	R134–460
Количество воды в сутки, л	30
Емкость для воды, л	12,5
Емкость для горячей воды, л	1,8
Емкость для холодной воды, л	2
Диапазон температур среды, °C	15–40
Влажность среды, %	35–95
Уровень шума, дБ	< 60
Вес аппарата, кг	50

Рис. 7. Атмосферный генератор воды Т-88  
ООО «Союз»

водоснабжение питьевой водой – 365 млрд литров или 365 млн куб. м;

водоснабжение горячей водой – 36,5 млрд литров или 36,5 млн куб. м.;

электроснабжение – 963,6 млрд. квт/ч;

теплоснабжение – 513,0 млн. Гкал.

При тех же условиях для первой очереди (10 млн домов) в отечественной комплектации потребуется 3,317 трлн руб., а для второй очереди (40 млн домиков) – 13,268 трлн руб., практически при тех же объемно-временных характеристиках произведенных ресурсов с помощью «природоподобных нанотехнологий».

Чтобы выполнить ретропрогноз внедрения автономных инженерных систем индивидуальных жилых домов (АИС ИЖД), необходима статистика событий, связанных с функционированием существующей энергосистемы, которую «распилили» после раз渲ла СССР для создания, так называемого «рынка электроэнергии», на две основных структуры: «генерирующую» (куда вошли все электростанции) и «снабжающую» (состоящую из «гарантирующих поставщиков» и остальных, если таковые есть). При этом их «рыночное взаимодействие» заключается в том, что «генерирующая структура» продает электроэнергию, например, по «федеральным ценам» (до 1 руб. за 1 КВт·час), а «снабжающая структура» – по «региональным ценам» (от 2 до 5 руб. за 1 КВт·час), да еще в виде эксперимента (который с 2013 года никак не закончится) по «социальным нормам», утвержденным региональными тарифными комиссиями. В связи с чем потребители платят не только за фактическое потребление электроэнергии, но и за по-

тери в электрических сетях «снабжающих структур», которые, как показали наши исследования, «законодательно» разрешены [19, 47, 48].

Следовательно, «экономический эффект» (точнее годовая экономия граждан в стоимостном выражении) от внедрения «электрической части» АИС ИЖД будет, в среднем, в 3,5 раза больше, чем «доход генерирующей структуры», что составит – 3,372 трлн руб. ежегодно (963,6 млрд квт/ч • 3,5 руб.).

Очевидно, если население сэкономит на электроэнергии, то появятся те, кто потеряет свой доход, и это будут электроснабжающие организации (гарантирующий поставщик в первую очередь), т.к. «генерирующая структура» будет продолжать продавать им электроэнергию, которой постоянно не хватает для развития России. Однако, на общем фоне поставок электроэнергии предприятиям и организациям (юридическим лицам) такой «убыток» никто не заметит, а в качестве компенсации «снабжающие структуры» получат сглаживание дневного пика нагрузки, а следовательно, повышение качества поставляемой электроэнергии и снижение потерь, т. к. обычно пик выработки энергии солнечными панелями совпадает с дневным пиком потребления [44].

Остается определить, откуда, в каком количестве ежегодно и в течение скольких лет следует набрать 16,585 трлн руб. для комплектации и внедрения АИС ИЖД?

Дело в том, что с 2009 года в России действует поддержка возобновляемых источников энергии – правила прописаны в утвержденном правительством документе. Изначально меры поддержки были рассчитаны на период до 2020 года, но их продлили до 2024. Субсидий со стороны государства в мерах поддержки нет – они направлены только на привлечение частных инвестиций [49].

На розничном рынке электроэнергии предусмотрен конкурсный отбор, по итогам которого инвестор получает право на строительство объектов ВИЭ любого вида с гарантированным возвратом вложений. Срок окупаемости – 15 лет, норма доходности – 14% годовых для объектов, введенных до 1 января 2017 года, и 12% годовых для объектов, введенных после 1 января 2017 года.

С 2013 года коммерческий оператор АО «АТС» каждый год проводит конкурсный отбор проектов. По результатам отбора до 2024 года планируется инвестировать в строительство объектов ВИЭ в России 528,74 млрд рублей, из которых на долю ветроэлектростанций приходится 330,73 млрд руб., а на долю солнечных электростанций – 201,25 млрд руб. [50].

Если прибавить к указанным данным АО «АТС» объем инвестиций, вложенных бизнесом в бессистемное копирование «зарубежного опыта» с 2009 по 2013 годы [51], то общая сумма потерь от «тупи-

кового развития» ВИЭ в России за 12 лет превысила 1,0 трлн руб.

С точки зрения организации внедрения АИС ИЖД, представляет интерес опыт Нидерландов [52]. Стоимость 1 кВт-часа использования централизованной подачи электроэнергии для физических лиц в Нидерландах составляет примерно 30 евроцентов, что также как у нас в 4,5 раза выше стоимости производимой электроэнергии (7 евроцентов, а остальное — налоги, пошлины и т.д.). При этом после согласования с местными энергоснабжающими организациями собственник устанавливает у себя двунаправленный счетчик электроэнергии и солнечные панели, работающие на сетевой инвертор (инвертор, работающий параллельно с сетью). В темное время суток электроэнергия потребляется из сети, и счетчик считает ее количество, а утром энергия от солнечных панелей через сетевой инвертор начинает подмешиваться в домовую электросеть за счетчиком, тем самым снижая потребление от сети. Соответственно, счетчик продолжает считать энергию, но уже с меньшей скоростью, а после того как выработка электроэнергии солнечными панелями достигает уровня полного потребления дома, потребление от городской сети прекращается, счетчик останавливается и все нужды дома полностью обеспечиваются солнечными панелями. При дальнейшем росте выработки электроэнергии солнечными панелями или при снижении потребления домом избыточная электроэнергия начинает выгружаться в городскую сеть, при этом счетчик начинает вычитать эту энергию из своих прежних показаний. К концу отчетного периода (месяца) возможны три варианта по балансу потребленной и выработанной энергии [52]:

- выработка энергии солнечными панелями за период не превысила потребления дома, в этом случае оплачивается по тарифу 30 евроцентов — разница между потреблением от сети и выработкой от солнца;
- выработка энергии солнечными панелями за период равна потреблению дома, в этом случае вообще не потребуется платить за электроэнергию;
- выработка энергии солнечными панелями за месяц превысила потребление дома, в этом случае сбытовая компания заплатит за «лишнюю энергию», но лишь по тарифу 7 евроцентов за кВт-час.

Однако такая организация стимулирует установку панелей такой мощности, чтобы баланс потребленной и выработанной мощностей приближался к нулю, т.к. вырабатывать больше просто невыгодно, в связи с тем, что тариф в 7 евроцентов не позволит окупить вложенные в установку лишних панелей средства в течение всего срока их службы. И такой способ «вынужденной организации» в совокупности с контролируемой выдачей разрешений реализует процесс «само-

организации», т.к. никаких работ по адаптации сети к приему мощности со стороны сетевых компаний не требуется, что исключает возникновение проблем, связанных с переизбытком мощности в участках сети между потребителями и ближайшими трансформаторами). Эта система хорошо работает и дает ощущимый вклад в общий энергобаланс Нидерландов, не требуя аккумуляторных батарей, для хранения избыточной электроэнергии [52].

В России, несмотря на изменения законодательства в области микрогенерации электроэнергии, из-за отсутствия регулирующих подзаконных актов, существующая система практически не допускает выгрузки излишков электроэнергии в сеть физическими лицами [53], поэтому для накопления излишков требуются аккумуляторы, которые увеличивают затраты на внедрение АИС ИЖД. Однако технически ничего не мешает нам заимствовать опыт Нидерландов, т.к. многие из применяемых в России электронных счетчиков изначально способны считать энергию в две стороны, сейчас эта функция отключена программно [52].

Итак, перечислим достоинства такого схемного решения (рис. 8) для населения и нашего государства, построенного с учетом процессов самоорганизации:

во-первых, граждане получают без перебоев в электроснабжении более качественную электроэнергию и экономят на оплате за нее (минимум 100 руб. в месяц на каждого проживающего по «социальной норме»);

во-вторых, граждане получают без перебоев в водоснабжении более качественную питьевую воду и экономят на оплате за нее (минимум 300 руб. в месяц на домовладение);

в-третьих, граждане получают без перебоев горячую воду и экономят на оплате за нее (минимум 300 руб. в месяц на домовладение);

в-четвертых, граждане получают без перебоев в теплоснабжении комфортные условия проживания при автономно-регулируемом отоплении, при экономии оплаты (минимум 1000 руб. в месяц на домовладение в течение отопительного сезона);

в-пятых, граждане реально участвуют в решении проблемы «реинжиниринга техносферы» с помощью «природоподобных нанотехнологий», экономя, в среднем, 144,0 тыс. руб. в год на оплате за электроэнергию, воду и тепло в индивидуальном жилом доме;

в-шестых, государство обеспечивает рост доли альтернативной энергетики в общем балансе, стимулирует производство солнечных батарей и гидропанелей, ветрогенераторов, аппаратов генерации питьевой воды и других приборов, входящих в АИС ИЖД, чем увеличивает внутренний валовый продукт (ВВП) и число рабочих мест, улучшая, тем самым, отношение к власти со стороны общества и т.д.

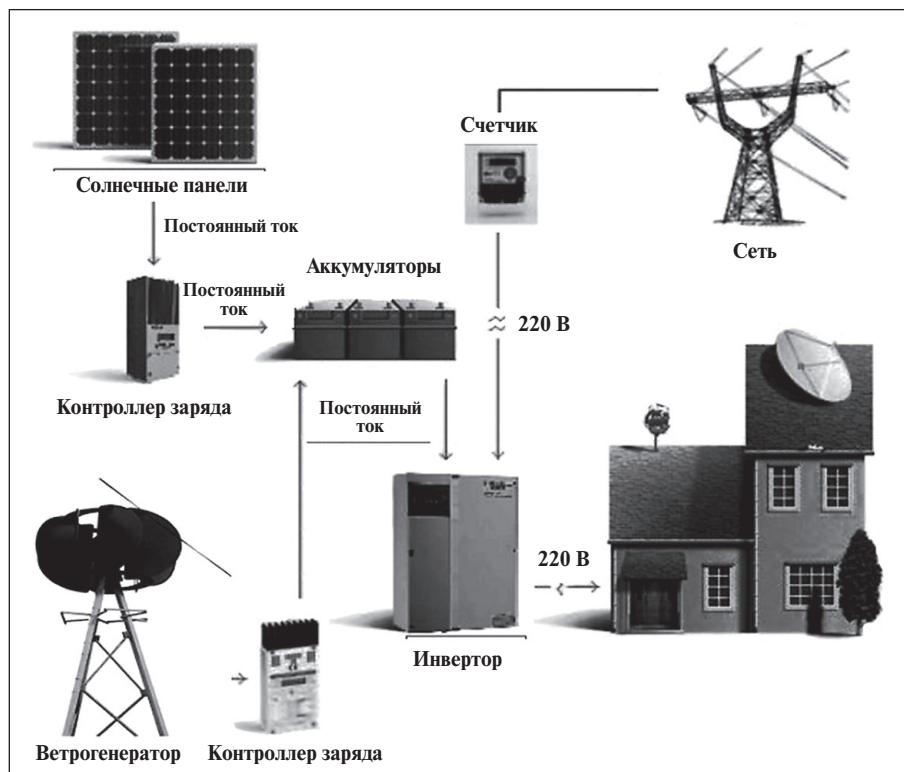


Рис. 8. Структура ветро-солнечной части АИС ИЖД

Есть и еще актуальные применения для малой альтернативной энергетики – это инженерные системы для удаленных автономных объектов. **Что же мешает реализации такого подхода?**

Во-первых, отсутствие системного подхода к альтернативной энергетике, о чем свидетельствуют приведенные выше данные об ошибочном векторе ее развития, «проложенном в 2009 году» Правительством РФ [48].

Во-вторых, отсутствие системной поддержки в постановке на производство отечественных инноваций и в ветроэнергетике, и в генерации питьевой воды, и в производстве «бюджетных» гидропанелей и солнечных батарей.

В-третьих, и это главное – в отсутствии государственной воли и соответствующей нормативно-правовой базы по «направлению бизнеса в нужное русло», для обеспечения благосостояния и безопасной жизнедеятельности народа, а не на повышение пожаровзрывоопасности от «бездумной газификации села» и низкого качества электро-, водо-, теплоснабжения жилого сектора и домохозяйств, при «сверхприбылях» ресурсодобывающих и ресурсоснабжающих компаний [54].

Итак, выполним ретропрогноз развития альтернативной энергетики в России с 2009 года по настоящее время, т.е. с момента принятия ошибочного решения Правительства РФ [48].

Для определения интервала времени развертывания предлагаемой автономизации индивидуальных жилых домов необходимо рассчитать время постановки на производство отечественных комплектующих комплекса АИС ИЖД и объемы его ежегодного выпуска. При этом очевидным решением является размещение производства комплексов в каждом субъекте Российской Федерации, путем создания предприятий в форме государственно-частного партнерства (ГЧП), с филиалами или участками в городах и районных центрах региона по монтажу и обслуживанию АИС ИЖД на территории субъектов. При этом численность указанных предприятий легко определяется по отношению числа индивидуальных домов к многоквартирным/многоэтажным домам по данным кадастрового учета в каждом регионе [55].

Однако для ретропрогноза эффективности предлагаемой модели «автономизации» на данном этапе не требуется такая точность, если известны общее количество индивидуальных жилых домов и домохозяйств [19].

Таким образом, для определения финансирования производства и монтажа АИС ИЖД в регионах необходимо организовать 85 предприятий ГЧП по выпуску комплектующего оборудования АИС ИЖД и передачи его в городские и районные филиалы/участки для сборки и монтажа «специфицированных АИС ИЖД», состоящих [19, 37, 56, 57]:

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- из «Шуховских ветро-электро-генераторов»;
- из вихревых ветро-электро-генераторов — источников атмосферной воды;
- из гидропанелей «УНИСОРБ»;
- из солнечных панелей;
- из инверторов-счетчиков-извещателей;
- из контроллеров заряда-извещателей аккумуляторных батарей;
- из аппаратов генерации холодной и горячей воды из воздуха (ГХГВ);
- из отечественных мульти-сплит-систем-извещателей.

Для удаленных автономных объектов (метеостанций, лесничеств, горных постов и т.д.) и для поставки на экспорт предприятия регионов могут компоновать АИС ИЖД в контейнер и осуществлять установку, пуск в эксплуатацию и периодическое обслуживание собственными силами.

Филиалы/участки располагаются в городах и районных центрах и работают по договорам с конкретными заказчиками по региону (собственниками ИЖД), разрабатывая проекты «привязки» уже специфицированных к конкретному дому АИС ИЖД (САИС ИЖД) со следующими вариантами:

- дублированная САИС ИЖД (с конкретным количеством гидропанелей и с аппаратом ГХГВ, с «Шуховским» ветро-электро-генератором и с конкретным количеством солнечных панелей с инвертором-извещателем и с контроллером-извещателем заряда аккумулятора, в зависимости от числа проживающих) и с отечественной мульти-сплит-системой-извещателем (с конкретным количеством внутренних блоков: по числу комнат, но не менее одного в помещении с электроплитой);
- троированная САИС ИЖД (с конкретным количеством гидропанелей, с аппаратом ГХГВ и с вихревым ветро-электро-генератором-источником воды, с «Шуховским» ветро-электро-генератором и с конкретным количеством солнечных панелей с инвертором-извещателем и с контроллерами-извещателями заряда аккумулятора, в зависимости от числа проживающих) и с отечественной мульти-сплит-системой-извещателем (с конкретным количеством внутренних блоков: по числу комнат, но не менее одного в помещении с электроплитой).

Филиалы/участки предприятий по согласованию с каждым заказчиком определяют схему водоснабжения и отопления его дома, закупают индукционный электрокотел с «теплыми полами» и/или настенными батареями или ИК-нагреватели и другие электроприборы отопления [19], включая необходимую отечественную сантехнику и компоненты водоотведения (в сливную яму, подготовленную заказчиком, или в канализацию — при наличии), а также осуществляют монтаж и ввод в эксплуатацию САИС

ИЖД, после чего заключают с заказчиком договор о ее периодической проверке и ремонте (при необходимости).

Предположим, что вместо указанного Распоряжения было выпущено Постановление Правительства РФ «О развертывании работ по производству и обеспечению всех индивидуальных жилых домов отечественными комплексами жизнеобеспечения», в котором в качестве источника финансирования половина затрат выделяется из бюджета, а остальная половина — банками, путем выдачи собственникам индивидуальных жилых домов беспроцентных ссуд для оплаты АИС ИЖД, погашение которых начинается после введения их в эксплуатацию, в размере 1000 рублей в месяц (практически соответствует экономии), что позволяет погасить банковскую ссуду (равную половине стоимости АИС ИЖД) в течение нескольких лет.

В этом случае получим следующие усредненные производственные планы для каждого из 85 предприятий (ГЧП) с 2009 года по настоящее время (12 лет):

1. Для 10,0 млн. домов (ИЖД/(85 ГЧП • 12 лет) необходимо произвести 9804 комплекса АИС ИЖД в год, что при 247 рабочих дней в году составит 39 комплексов в сутки. Следовательно, при работе каждого предприятия в 3 смены **необходимо выпускать по 13 комплексов в смену**, что вполне реализуемо, а в натуральном и стоимостном выражении составит:

1.1. 9804 «Шуховских» вихревых ветро-электро-генераторов — 213,2 млн руб. (9804 • 250 • 87).

1.2. 9804 вихревых ветро-электро-генераторов — 357,2 млн руб. (9804 • 3350/8 • 87).

1.3. 9804 комплектов из 4-х гидропанелей «УНИСОРБ» — 1176,5 млн. руб. (9804 • 120 000).

1.4. 39 728 солнечных панелей — 529,4 млн руб. (9804 • 4 • 13500).

1.5. 9804 инвертора-извещателя — 279,4 млн руб. (9804 • 28 500).

1.6. 19 608 контроллера-извещателя заряда аккумуляторных батарей — 268,6 млн руб. (19 608 • 13 700).

1.7. 9804 аппарата ГХГВ — 1127,46 млн руб. (9804 • 115 000).

1.8. 9804 отечественных мульти-сплит-систем-извещателей — 882,4 млн руб. (9804 • 90000).

2. Итоговый годовой объем для каждого предприятия ГЧП составит 4,834 млрд руб. а общий объем производства оборудования для 10 млн АИС ИЖД за 12 лет — 4,931 трлн руб.

3. На спецификацию, монтаж, наладку и периодическую проверку 10 млн домов за 12 лет в 85 субъектах потребуется 1031,3 млрд руб., а годовой объем филиалов/участков одного предприятия ГЧП составит 1,45 млрд руб.

Для организации указанных предприятий ГЧП в субъектах Российской Федерации воспользуемся конкурсом по Постановлению Правительства РФ № 218 [58]. Это позволит получить в каждом регионе в течение 3 лет 245 млн руб. государственной субсидии и еще 245 млн руб. привлечь за счет беспроцентного банковского кредита, который каждое вновь созданное предприятие ГЧП погасит в течение нескольких лет.

Таким образом, общая сумма на создание и оснащение необходимым технологическим оборудованием 85 предприятий ГЧП в субъектах Российской Федерации, т.е. по 85 проектам ПГЧП, составит – 41,65 млрд руб.

Считая, что указанные предприятия будут выпускать высоко-технологичную продукцию, рассчитаем их численность, по аналогии с отечественными достижениями на 2020 год, зафиксированными Распоряжением Правительства РФ [59], т.е. из расчета объема выпуска продукции в 4,8 млн руб. на одно высокотехнологичное рабочее место, среднегодовая численность одного предприятия ГЧП составит 1007 специалистов (4,834 млрд руб./4,8 млн руб.). Учитывая 3-х сменный режим работы и минимальный размер инженерно-управленческого аппарата (47 сотрудников), можно организовать 24 комплексных бригады по 40 человек в каждой (в среднем, по 5 специалистов на один из восьми видов оборудования АИС ИЖД). При этом среднегодовая численность его филиалов/участков, проектно-монтажная деятельность которых также считается высокотехнологичной, составит, в среднем, 302 специалиста (1,45 млрд руб./4,8 млн руб.), т.е. от 5 до 10 штатных единиц, в среднем, на один филиал/участок в субъекте Российской Федерации.

Таким образом, общее количество высокотехнологичных рабочих мест в 85 субъектах Российской Федерации составит 111 265 штатных единиц.

К окончанию внедрения АИС ИЖД Правительство РФ должно подготовить и внести в Госдуму РФ законопроект «О пожарно-энергетическом налогообложении жилого сектора», чтобы и в «остальной части жилого сектора» обеспечить вероятность безопасность жизнедеятельности не выше, чем 0,999999 [20, 60, 61].

Аналогично можно оценить объемы на оснащение АИС ИЖД «оставшихся» 40 млн. садовых домиков и домохозяйств, которые можно освоить быстрее, если укрупнить предприятия ГЧП субъектов Российской Федерации.

Таким образом, постановка на производство отечественных инноваций в области «так называемых возобновляемых источников энергии» («шуховских» ветрогенераторов, генераторов атмосферной воды, солнечных батарей, гидропанелей и т.д.), позволит прекратить «поголовную газификацию» сельских населенных пунктов, чем «сохранить сотни миллиардов

рублей» и резко снизить пожаровзрывоопасность жилого сектора, а также более экономно, чем за рубежом, реализовать в России децентрализованное снабжение ресурсами более 10 млн. индивидуальных домов и около 40 млн. дачных и садовых домиков, определив тем самым «истинное место альтернативной энергетики» в структуре Российских систем электро-, газо-, водо- и теплоснабжения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ направлений и темпов развития в мире «так называемых возобновляемых источников энергии» показал, что указанные установки являются нестабильными, низко концентрированными и периодическими источниками, в связи с чем их бессистемное применение является серьезной ошибкой ученых, специалистов и политиков. На основе анализа инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов, а также пожарно-энергетического и экологического вреда, возникающего в результате их функционирования, предложены нанотехнологии и российские патенты, реализующие «природоподобные технологии», которые позволяют решить проблемы автономного электро-, водо-, теплоснабжения индивидуальных жилых домов. Показано, что интеграция «Шуховской» и вихревой ветроустановок, отечественных гидропанелей и солнечных батарей позволяют создать тиражируемую автономную инженерную систему для индивидуальных жилых домов (АИС ИЖД).

За счет дублирования и троирования АИС ИЖД могут обеспечить электроэнергией, водой и теплом индивидуальные жилые дома с параметрами качества, надежности и безопасности, которые на несколько порядков превышают существующие централизованные системы ресурсоснабжения городов и населенных пунктов, чем создать пожаро-взрывобезопасные условия жизнедеятельности населения в соответствии ГОСТ 12.1.004.

**Массовая альтернативная энергетика в России действительно возможна и эффективна, но только в жилом секторе**, поэтому целесообразно продолжить исследования в направлении «тиражирования АИС ИЖД» на многоквартирные жилые дома, чем повысить их эффективность, за счет сокращения около 70% социально-экономических потерь от ежегодных пожаров, а также взрывов, при использовании бытового газа.

При условии разумной государственной поддержки возможно успешное развитие альтернативной энергетики в перспективных районах России – в Сибири и на Дальнем Востоке, например, в составе « дальневосточного гектара », а также в применении АИС ИЖД для жизнеобеспечения удаленных и труднодоступных объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выступление Президента России Владимира Путина на пленарном заседании 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН 28 сентября 2015 года / Сайт президента России. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/50385> (дата обращения 09.01.2022).
2. Белозеров В.В., Богуславский Е.И., Пащинская В.В., Прус Ю.В. Адаптивные системы подавления энтропии в техносфере // Успехи современного естествознания. 2006. № 11. С. 59–62.
3. Ковальчук М. В. Нанотехнологии – фундамент новой научноёмкой экономики XXI века // Вестник Института экономики РАН. 2008. № 1. С. 143–158.
4. Ковальчук М. В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6. № 1–2. С. 13 – 23.
5. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Ячишина Е. Б. Конвергенция наук и технологий и формирование новой ноосферы // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6, № 9–10. С. 10 – 13.
6. Белозеров В.В., Пащинская В.В. Биоархитектура транспортно-энергетических инфраструктур // Современные тенденции регионального развития: баланс экономики и экологии. сб. мат-лов Всероссийской научно-практической конференции. Махачкала: ИСЭИ ДНЦ РАН, 2014. С. 138–146.
7. Белозеров В.В. О вероятностно-физическом и энтропийном подходам к процессам горения и определения пожарной опасности // Безопасность техногенных и природных систем. 2021. № 4. С. 36–51. DOI: <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-36-51>.
8. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Ячишина Е. Б. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития // Вопросы философии. 2013. № 3. С. 3–11.
9. Белозеров В.В., Кирлюкова Н.А., Пащинская В.В. О природоподобных технологиях управления безопасностью дорожного движения // Повышение международной конкурентоспособности российской инновационной продукции и технологий предприятий Ростовской области: сб. науч. тр. I Международной научно-практической конференции, в рамках Открытого международного научно-практического форума «Инновации и инжиниринг в формировании инвестиционной привлекательности региона». Ростов н/Д: ДГТУ, 2016. С. 40–44.
10. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. Т. 22, № 3–4. С. 103–108.
11. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016. № 642) – URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATIOJiq5tZJgqcZLY9YyL8PWTXQb.pdf> (дата обращения 05.12.2021).
12. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Ячишина Е.Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы // Вестник РАН. 2019. Т.89, № 5.С. 455–465. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>.
13. Кокин А.В., Албакова Т.У. Энтропия сложности и сложность управления // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС. 2012. № 1. С. 15–28.
14. Сергеев А.М. Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Вступительное слово Президента РАН академика РАН А.М. Сергеева // Вестник РАН. 2019. Т. 89, № 4. С. 309–310. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894309-310>.
15. Белозеров В.В., Гаврилей В.М., Топольский Н.Г. Синергетические системы ноосферной безопасности. Москва: АГПС МЧС РФ, 2020. 346 с.
16. Кокин А.В., Кокин А.А. Природоподобные технологии и сбалансированное природопользование в условиях современной экономики // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2020. № 1. С. 131–136. DOI: <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136>.
17. Природоподобные технологии – это не новый тренд. Чем обернулась дискуссия о непрогнозируемых технологиях будущего [Электронный ресурс]. URL: <https://indicator.ru/engineering-science/prirodopodobnye-tehnologii.htm> (дата обращения 05.01.2022).
18. Кокин А.В. Ассимиляционный потенциал биосферы. Ростов н/Д.: СКАГС, 2005. 185 с.
19. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Олейников С.Н., Белозеров Вл.В. Синтез нанотехнологий жизнеобеспечения в тиражируемую автономную инженерную систему индивидуального жилого дома // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 33–42. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-33-42>.
20. Белозеров В.В. Синергетика безопасной жизнедеятельности. Ростов н/Д: ЮФУ, 2015. 420 с.
21. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Петропрогноз пожаров и последствий от них, как метод оценки эффективности инноваций в области пожарной безопасности // Вопросы безопасности. 2017. № 5. С. 55–70. DOI: <https://doi.org/10.25136/2409-7543.2017.5.20698>.
22. Леонтьев В., Форд Д. Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. 1972. Т. 8(3). С. 370–399.
23. Белозеров В.В., Олейников С.Н. О пространственно-временном статистическом анализе пожаров // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 58.
24. Олейников С.Н. К обоснованию системы противопожарного налогообложения для профилактики пожаров и компенсации потерь от них // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2012. № 1(3). С. 87–89.
25. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Изд. стандартов, 1992. 77 с.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

26. Бадалян Л.Х., Баранов П.П., Белозеров В.В., Пащинская В.В., Рыбалка А.И. «САДТЭН» – биотехническая, экономико-юридическая макросистема // Экономика природопользования и природоохраны: сб. мат-лов VI Междунар. науч.-практ. конф. / Пенза, 10–11.04.2003. Пенза: ПДЗ (МАНЭБ), 2003. С. 163–166.
27. Дьяконов В.П., Исачков А.В., Кабанец Е.Е., Присадков А.И. Автоматизированная система обработки статистических данных о пожарах и загораниях // Применение математических методов исследования в вопросах пожарной охраны. – М.: ВНИИПО, 1982. С. 83–88.
28. Богуславский Е.И., Белозеров В.В., Богуславский Н.Е. Прогнозирование, оценка и анализ пожарной безопасности / Учебное пособие. Ростов н/Д: РГСУ, 2004. 151 с.
29. Богуславский Е.И., Глушко А.А., Азаров В.Н. Предложения по совершенствованию метода статистического анализа травматизма в строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 7. С. 129–134.
30. Белозеров В.В. О применении закона больших чисел при статистическом анализе пожаров // Технологии техносферной безопасности. 2010. № 2(30). С. 8.
31. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Способ определения пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара с помощью электросчетчика-извещателя // Патент РФ на изобретение № 2622558 от 07.09.2012, опубл. 16.06.2017, бюл. № 17.
32. Олейников С.Н. Электросчетчик-извещатель пожарно-электрического вреда // Патент на полезную модель № 135437. опубл. 10.12.2013, бюл. № 34.
33. Азаров А.Д., Бадалян Л.Х., Баранов П.П., Белозеров В.В., Бушков М.А., Доля В.К., Панич А.Е., Пащинская В.В., Рейзенкинд Я.А., Шевчук П.С. Модель оценки и утилизации дорожно-транспортного вреда и система реализации её в автомобиле // Отчет о НИР № 02.06.004, Министерство образования и науки РФ и АО «АвтоВАЗ». – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23406440>.
34. Азаров А.Д., Бадалян Л.Х., Белозеров В.В., Денисенко П.Ф., Пащинская В.В., Рейзенкинд Я.А., Шевчук П.С. «КАСКАД» – адаптивная система безопасности дорожного движения // Техносферная безопасность: сб. мат-лов 7 Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Е. И. Богуславского. – Ростов н/Д: РГСУ, 2002. С. 191–197. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42875845>.
35. Белозеров В.В., Олейников С.Н., Сухачев А.В., Сухачев А.В. Электросчетчик-пожаровзрывоизвещатель // Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук: сб. науч. трудов международной научно-практической конференции. Тольятти: «Эвенсис», 2016. С. 12–15.
36. Белозеров В.В., Подольцев В.В. Средства диагностики пожарно-энергетического вреда в жилых домах и квартирах // Актуальные проблемы науки и техники – 2019: сб. мат-лов Национальной научно-практической конференции. Ростов н/Д: ДГТУ, 2019. С. 10–11.
37. Долаков Т.Б., Олейников С.Н. Модель автоматизированной микросистемы учета энергоресурсов и пожаровзрывозащиты жилого сектора // Электроника и электротехника. 2018. № 2. С. 48–72. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8884.2018.2.26131>.
38. Белозеров В.В., Видецких Ю.А., Викулин В.В., Гаврилей В.М., Мешалкин Е.А., Назаров В.П., Новакович А.А., Прус Ю.В. «БАКСАН-ПА»: автомобиль скорой пожарной помощи // Современные научноемкие технологии. 2006. № 4. С. 87–89.
39. Белозеров В.В. Технико-экономическое обоснование «Коммуникационной адаптивной системы контроля автотранспортного движения» (КАСКАД) // Отчет о НИР № ТОО-13.0-2500 и ТОО-13.0-2501 от 03.03.2000 (Министерство образования и науки РФ). 35 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23406446>.
40. Физико-химические и хронобиологические методы и технологии в системе подавления вреда и противопожарной защиты ТЭЦ / Е.К. Айдаркин, В.В. Белозеров В.В., Е.И. Богуславский и др. // Современные научноемкие технологии. 2006. № 4. С. 86–87.
41. Назаренко А.А. Модели и средства повышения эффективности и безопасности объектов теплоэнергетики // Электроника и электротехника. 2018. № 1. С. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8884.2018.1.25724>.
42. Атмосферный генератор воды AQUAMATIC. [Электронный ресурс] – URL: <https://dmsht.ru/voda-iz-vozduha-atmosfernyy-generator/> (дата обращения 25.12.2021).
43. Меньщиков Е., Стриженов Е., Чугаев С., Школин А. Автономные системы генерации питьевой воды [Электронный ресурс]. URL: <https://s3.dtlr.ru/unti-prod-people/file/presentation/project/87ifl1tp96.pdf> (дата обращения 25.12.2021).
44. Дебрин А.С., Бастрон А.В., Урсегов В.Н. Обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций отечественных производителей // Вестник КрасГАУ. 2018. № 6. С. 136–141.
45. Российские и китайские солнечные панели. Обзор Hevel HVL-320/HJT и Seraphim Eclipse SRP-320-E01B [Электронный ресурс] URL: <https://spares.ru/article/rossiyskie-kitayskie-solnechnye-batarei/> (дата обращения 25.12.2021).
46. Атмосферные генераторы воды [Электронный ресурс] Нижневартовск: ООО «Союз». URL: <https://soyuz.nethouse.ru/products> (дата обращения 19.01.2022).
47. Федеральный закон № 35 от 26 марта 2003 года «Об электроэнергетике» (с изменениями на 11.06.2021) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения 25.12.2021).
48. Приказ Министерства энергетики РФ от 25 октября 2017 г. № 1013 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.03.2018 № 50503, в ред. от 13.07.2020). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71807490/> (дата обращения 25.12.2021).

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

49. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/20503/> (дата обращения 25.12.2021)
50. Конкурсный отбор проектов ВИЭ. Результаты отборов проектов /АО АТС: 2013–2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults> (дата обращения 25.12.2021).
51. Понкратьев П.А. Современное состояние, потенциал и перспективы развития ветроэнергетики в России / Русгидро [Электронный ресурс]. URL: <http://electrowind.ru/images/rusgidro-vetroenergetika-rossija.pdf> (дата обращения 25.12.2021).
52. Массовая альтернативная энергетика в России – это реальность? [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/317118/> (дата обращения 25.12.2021).
53. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280019#print> (дата обращения 25.12.2021).
54. Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.Н. Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13. № 2. С. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107>.
55. Федеральный закон «О государственной регистрации недвижимости» от 13.07.2015 N 218-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182661/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/) (дата обращения 25.12.2021).
56. Белозеров В.В. «Интеллектуальная» система вентиляции и кондиционирования воздуха в квартирах многоэтажных зданий и в индивидуальных жилых домах с нанотехнологиями защиты от пожаров и взрывов // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Том 11, № 6. С. 650–666. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-650-666>.
57. Белозеров Вл.В., Сухова Я.В., Белозеров М.В. Проблемы разработки отечественных мультисплит-систем для жилого сектора //Актуальные проблемы науки и техники – 2020: материалы национальной научно-практической конференции /Отв. ред. Н.А. Шевченко. Ростов н/Д: ДГТУ, 2020. С. 15–17.
58. Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. N 218 «Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств (в ред. Постановления Правительства РФ от 15.02.2021 N 193). <http://www.p218.ru/images/2021/p218.pdf> (дата обращения 25.12.2021).
59. Распоряжение Правительства РФ от 17 января 2020 г. № 20-р «О стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. <http://static.government.ru/media/files/1QkfNDghANiBUNBbXaFBM69Jxd48ePeY.pdf> (дата обращения 25.12.2021).
60. Синергетика безопасности жизнедеятельности в жилом секторе: монография / В.В. Белозеров, Т.Б. Долаков, С.Н. Олейников, А.В. Периков. М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2017. 186 с. DOI: <https://doi.org/10.17513/np.283>.
61. Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.Н. Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть 2 // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13. № 3. С. 171–180. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-3-171-180>.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Белозеров Валерий Владимирович** – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, safeting@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6999-7804>

**Никулин Михаил Александрович** – старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия, e-mail: pojar\_2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7756-3456>

**Белозеров Владимир Валерьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного контроля», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, isagraf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4758-1036>

#### ВКЛАД АВТОРОВ

**Белозеров В.В.** – общее научное руководство; аналитический обзор «природоподобных подходов», включая результаты собственных исследований; адаптация метода ретропрогноза к ВИЭ; выводы.

**Никулин М.А.** – адаптация способов и моделей «пожарно-энергетического вреда» для жилого сектора и патентов на них к АИС ИЖД; участие в моделировании затрат на АИС ИЖД и в расчетах методом ретропрогноза.

**Белозеров Вл.В.** – участие в моделировании САИС ИЖД; разработка структуры и проектно-монтажно-наладочных функций филиалов предприятий ГЧП; участие в расчетах и оформлении разделов.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Статья поступила в редакцию 04.02.2022; одобрена после рецензирования 02.03.2022; принятка к публикации 05.03.2022.

## Collagen Based Bio-Additives in Polymer Composites

Aldar B. Baldanov\* , Lyubov A. Bokhoeva , Dmitry V. Shalbuev , Tuyana B. Tumurova 

East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

\* Corresponding author: e-mail: aldarbaldanov@gmail.com

**ABSTRACT: Introduction.** Polymer composite materials (PCM) based on epoxy resins are widely used in the construction industry. They are applied in construction of bridge spans, roadway slabs, footwalk planks, in low-loaded structures, as well as for reinforcement of concrete structures, sheathing, strengthening of metal and concrete structures. Various fillers of micro- and nanosizes are used to improve the performance properties of PCM. Interfacial interaction between the filler and the polymer matrix plays an important role in determining the strength of the created composite materials. **Methods and materials.** The article studies the properties of polymer matrix composites reinforced with collagen based bio-additives obtained from solid organic waste of the leather industry. We have developed a fundamentally new method for obtaining a bioactive collagen product at a relatively low price, described in patent RU No. 2272808. Tensile studies of the PCM samples were carried out by adding dry collagen powder to an epoxy binder. We analyzed the sections of samples made on a JSM-6510LV JEOL scanning electron microscope, and studied the changes in the structure of PCM with fillers. **Results and discussion.** When 1% collagen is added to the PCM matrix, the amount of chemical elements is increasing: carbon (C) by 2.93%, oxygen (O) by 1.61%, magnesium (Mg) by 0.11%. And the number of micropores on the surface of the matrix, which serve as a stress concentrator, is decreasing by 4.9%, and they are also diminishing in size. The tensile tests have shown that when 1% collagen is added to the PCM matrix, the bearing capacity of the samples is increasing by 15.57%. The results obtained can contribute to the expansion of collagen application, waste reduction in the leather industry due to recycling. **Conclusion.** A fundamentally new method has been developed for obtaining a bioactive collagen product from solid organic waste of the leather industry at a relatively low price. It has been established that a bioactive collagen product in a powder form has a low cost and can be used as a bio-additive for PCM.

**KEYWORDS:** collagen, bio-additive, polymer composite material, testing, samples, strength.

**ACKNOWLEDGMENTS:** The work was supported by the ESSUTM Young Scientists-2021 grant.

**FOR CITATION:** Baldanov A.B., Bokhoeva L.A., Shalbuev D.V., Tumurova T.B. Collagen Based Bio-Additives in Polymer Composites. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 137–144. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-137-144>.

### INTRODUCTION

In recent years, polymer composite materials (PCM) have found application in various industries, due to their high strength and modulus of elasticity, low weight, processibility, resistance to aggressive external factors, moldability [1], etc. The basic material of polymer composites is a matrix made of polymer binder: epoxy, phenolic polyamide or other resins and reinforcing filler of carbon, glass, boron or other fibers. Their combination makes it possible to obtain high-strength structures with targeted properties. PCM are used for the reinforcement of concrete structures in the form of strips [2], rebars [3], in construction of foot bridges [4], open sheds and enclosing structures, as well as primary bearing members exposed to an aggressive environment [5]. The need for such materials mirrors in the developments aimed at the

improvement of the physical and mechanical properties of PCM, such as stiffness, fracture toughness and load-bearing capacity. A significant number of recent studies have shown that adding of nanoparticles and nanofibers to the PCM epoxy matrix improves the mechanical properties of such materials [6–10]. Addition of carbon nanotubes in the form of dispersions leads to an increase in the tensile strength of bond joints, an improvement of the mechanical properties, and growth of the microhardness of samples [11]. The researchers [12] studied unidirectional glass fiber reinforced epoxy composite filled with nano-size alumina, silica and micron-size alumina trihydrate fillers. The tensile, flexural and impact strengths of 10 wt% (combined alumina, silica and alumina trihydrate)-filled glass fiber reinforced epoxy composite improved by 9, 20 and 28%, respectively, as compared to the unfilled and alumina/silica-filled glass fiber reinforced epoxy compos-

ites. The results of studies of nanocomposites with silicon dioxide published over the past ten years were presented in the works [13–15]. The inclusion of silica nanoparticles sharply increases the compressive strength and moderately increases the tensile strength. The maximum effect of nanoparticles inclusion in PCM is encountered when the particle size range from 10 to 25 nm [16].

According to research conducted by Abercade [17], nanoadditives can be divided into four groups: pure metal powders, mixtures, metal oxides, complex oxides. Powders of pure metals make up a significant share of the total production of nanopowders – 80%. Complex oxides and mixtures are available in limited quantities. The results of the tenacity testing of multilayer polymer composites with fillers in the form of nanodispersed additives and other powdered substances are presented in the work [18]. Studies on inclusion of bio-additives to the PCM epoxy matrix are limited, but in the work [19] they improve such mechanical properties as rigidity, fracture toughness, and load-bearing capacity.

One of the promising fillers for the composite materials matrix is bio-additives based on collagen obtained from organic waste. They can be attributed to bioactive substances with optimal colloid-chemical properties. Organic wastes are secondary products derived from the processing of leather, fur, fish and meat raw materials. At the enterprises of the leather industry, a significant amount of solid organic waste is generated, which contains up to 50% of protein substances and can be actively used as biopolymers. Basic protein of such waste products is fibrillous protein-collagen, which forms the basis of the connective tissue and ensures its strength and elasticity.

Collagen makes up about 20–30% of the total amount of proteins in the body and has a unique structure, intra- and intermolecular bonds, and amino acid sequence [20–21]. In the collagen molecule three separate proline-rich polypeptide chains, containing glycine in every third position, twist one around the other, forming a triple helix. These molecules, in turn, are packaged into fibers, where neighboring molecules are held together by covalent crosslinks between neighboring leaching residues. Many rod-shaped collagen molecules cross-linked to-

gether form strong, inextensible collagen fibrils, which have a tensile strength comparable to that of steel [21]. Collagen connective tissue consists of the fibers of collagen fibrils, characterized by a cross-banded structure. In tendons, collagen fibrils are arranged in cross-linked parallel bundles, which have very high tensile strength and are almost inextensible. Collagen fibrils can withstand loads that exceed their own weight by at least 10 000 times [22]. Although collagen has traditionally been used in the pharmaceutical and medical industries, it can also find wide application as a filler in composites.

The work is aimed at studying the effect of a bioactive collagen product obtained from organic waste of the leather industry on the strength of PCM.

Currently, there is a number of ways to obtain bioactive collagen products in the form of nanopowder from organic waste of the leather industry. Several methods have been developed for obtaining large volumes of nanosized powder from solid organic wastes of leather industry enterprises at a relatively low price. We presented a method for obtaining collagen from biological material based on the dissolution of charging feed in acetic acid and acetone [23]. In this technology for producing a biopolymer, a fermented milk composition is used as an acidic solvent. The fermented milk composition is a symbiosis of acid-tolerant prokaryotic microorganisms with their metabolic products and is used to reduce protein losses and preserve a greater number of intra- and intermolecular bonds in the collagen structure. A patent was obtained for the technology of collagen production [24]. The finished collagen product is a highly soluble in water brown powder with fractions up to 1 micron.

## MATERIALS AND METHODS

We prepared the samples of fiberglass to carry out experimental work (grade T-10 (92) GOST 19170-2001). As a thermosetting matrix we used an uncured epoxy-diane resin ED-20 GOST 10587-84, as a curative for epoxy resin – polyethylenepolyamine TU 2413-357-0203447-99. For uniform distribution of dry collagen (1% or 2%) in the matrix, we used AG SONIC TC-150B ultrasonic bath

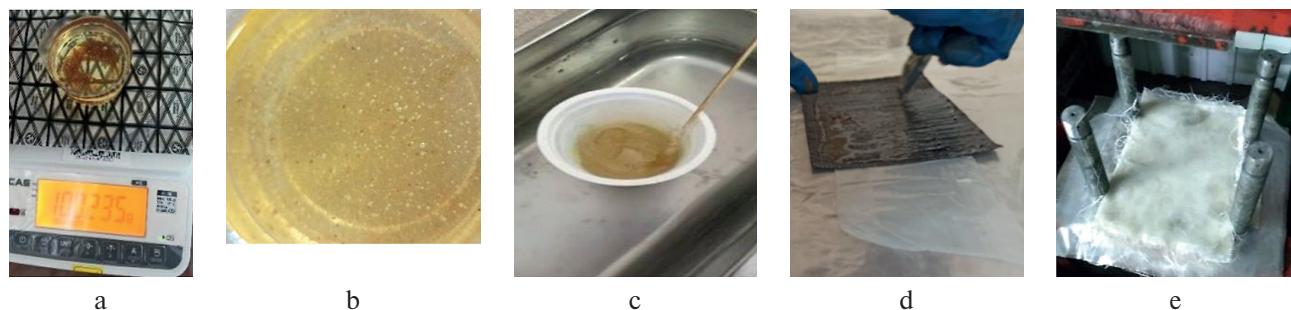


Fig. 1. Stages of processing PCM with collagen additives

with water heated to 45°C (Fig. 1c). The ultrasonic bath reduces the occurrence of air bubbles formed during the mechanical mixing, promotes uniform distribution of particles. It was noticed that a small amount of collagen up to 1 μm remains undissolved (Fig. 1b). We developed a special device for processing a prepreg for samples with nanoadditives (Fig. 1d).

The technological process of sample preparation involves the following operations. The reinforcing filler is cut to the required dimensions, and placed on the lower molding plate (Fig. 1e), the surface of the mold is covered with a smooth polyethylene film, the required number of layers of polymer material is laid on it, and a binder with different concentrations of collagen is placed between the layers (Fig. 1a, b, d). Then, the finished lay-up is evenly clamped with a hydraulic press (10 tons) to the stop and left pressed for 170 hours at a temperature of 30°C. The resulting sample is cut with a diamond disk into strips of the required dimensions.

We made an analysis of the quantitative composition of collagen biopolymer particles in the composite matrix using a JSM-6510LVJEOL scanning electron microscope with an INCA microanalysis system installed in Centre of Collective Using “PROGRESS” at ESSUTM (Fig. 2).

We studied cutoffs of the samples sized 1 x 1 cm, cut out from the fractured areas after tensile tests. Cutoffs of the samples with collagen concentrations of 1%, 2%, and control samples without collagen (0%) with layers [90], were considered. It was found that when 1% or 2% collagen is added to PCM, the amount of chemical elements increases: carbon (C) by 2.93%, oxygen (O) by 1.61%, magnesium (Mg) by 0.11%. The results are presented in table 1.

Studies of the surface of matrix with the addition of 1% and 2% collagen and matrix without the bioadditives (control samples) showed that with the addition of collagen the total number of micropores increases (up to 1  $\mu\text{m}^2$ ), but the number of micropores sized more than 1  $\mu\text{m}^2$  decreases (Fig. 3). The total area of micropores is reduced by an average of 3.57% with the addition of 1% collagen powder. The diagram in Figure 4 shows the areas of micropores in  $\mu\text{m}^2$  and their number depending on the percentage of collagen.

In dispersion-hardened materials, the particles act as a barrier to propagation of a crack in the matrix by strengthening the initial binder phase. Stress is concentrated in the area of matrix microinhomogeneities (micropores, grain boundaries, oversize non-equiaxed grains),

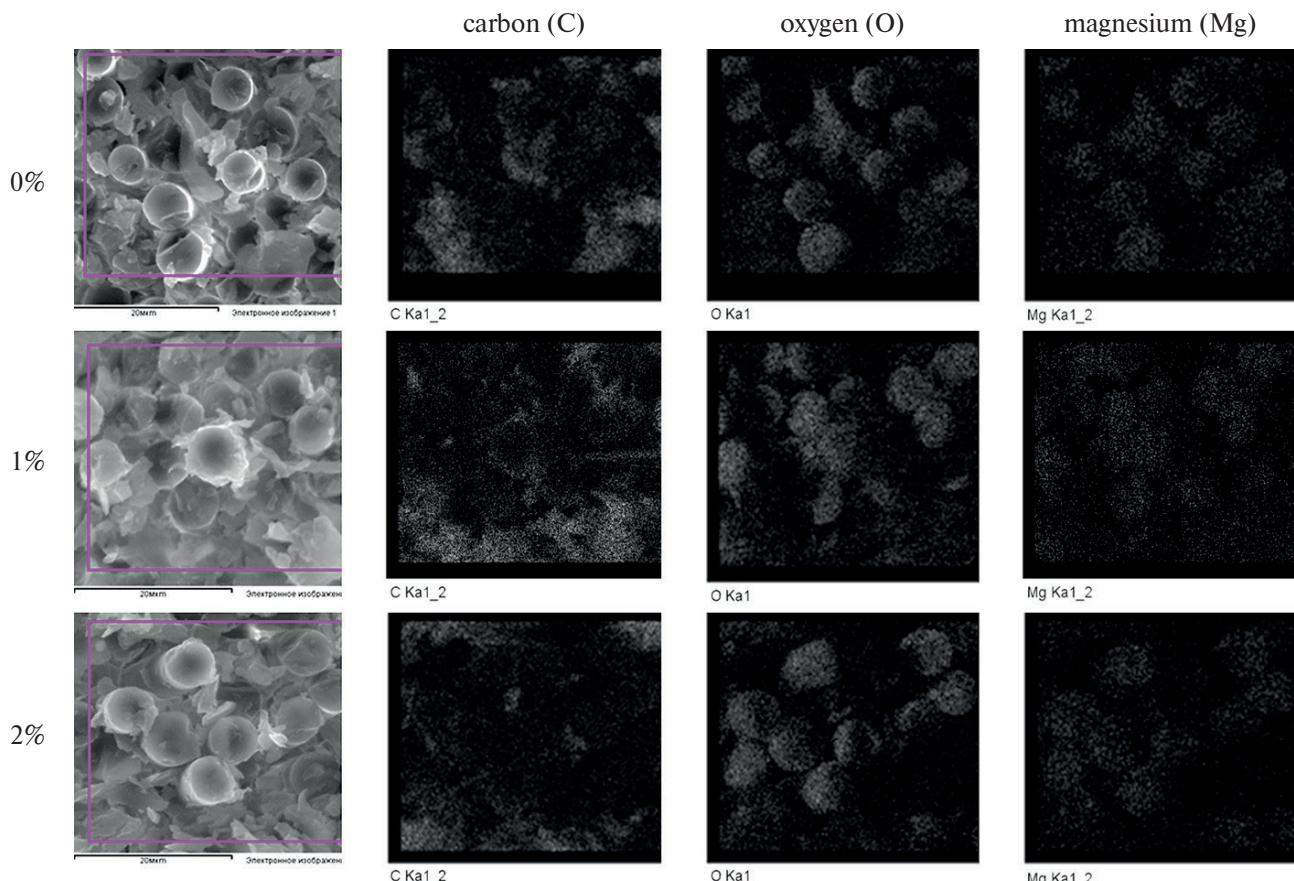
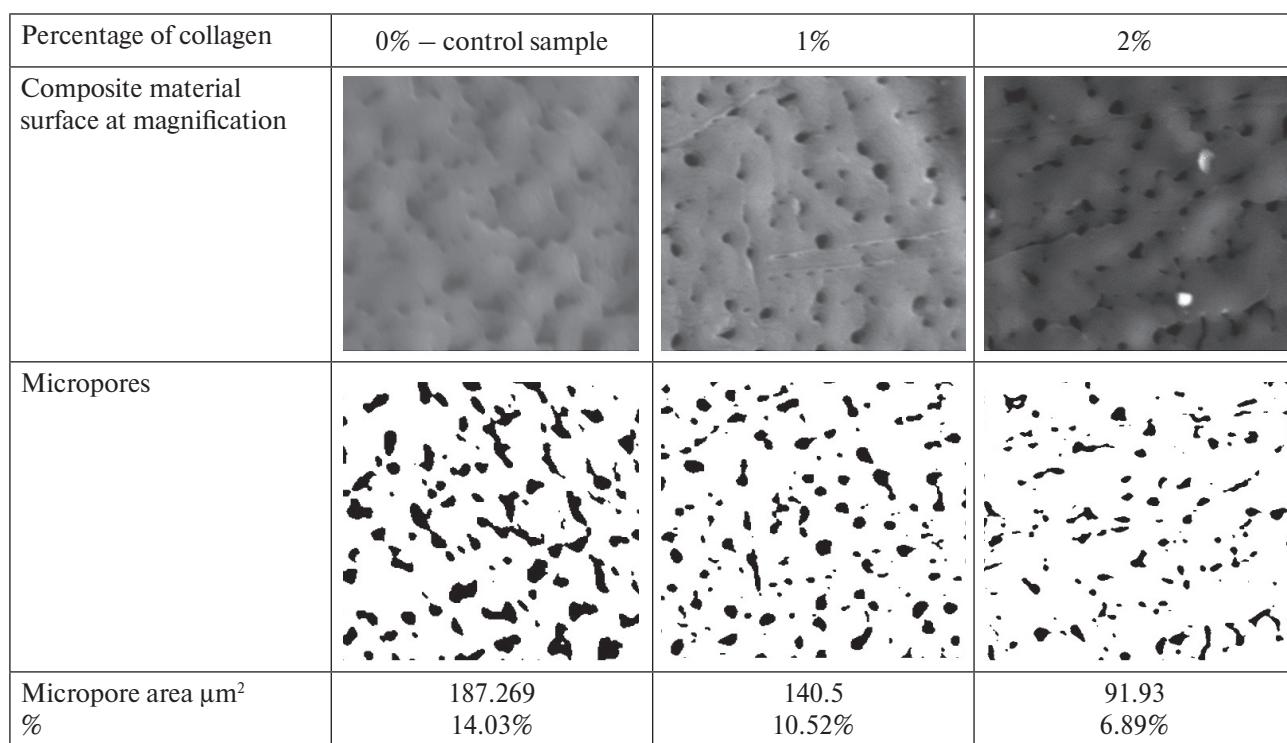


Fig. 2. Analysis of the quantitative composition of collagen biopolymer particles in the composite matrix

**Table 1**  
**Average amount of impurities in samples, %**

% of biopolymer content		C	O	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca
100%	In biopolymer	<b>47.65</b>	<b>47.97</b>	0.18	<b>0.08</b>	0.13	0.85	0.67	0.43	0.07	<b>1.54</b>
0%	In matrix	<b>34.07</b>	<b>36.5</b>	0.08	<b>1.32</b>	14.33	0.11	0.08	0.11	0.24	<b>9.13</b>
1%	In matrix	<b>36.78</b>	<b>38.6</b>	0.1	<b>1.46</b>	13.34	0.09	0.1	0.13	0.2	<b>9.1</b>
2%	In matrix	<b>39.94</b>	<b>39.72</b>	0.08	<b>1.54</b>	13.78	0.1	0.11	0.17	0.24	<b>9.3</b>



**Fig. 3. Analysis of the surface of composite material sized  $38 \times 34 \mu\text{m}^2$  at x1500 magnification**

where the rapid growth of cracks occurs. When collagen is added, the area of micropores decreases and the matrix is strengthening. During the crack propagation collagen particles serve as a barrier on its way: either the crack goes around the particle, and its growth time increases; or collagen particles at the crack tip are deformed, stretched and shred, and the resistance to crack development increases, since its edges are overlapped by “bond bridges” of collagen (Fig. 5).

## RESULTS AND DISCUSSION

We carried out the tensile testing of the samples of PCM with the addition of 1% and 2% collagen and the

angles of lay-up equal to [90]<sub>2</sub>, according to GOST 56785, (ASTM D3039) “Tensile Test Method for Flat Samples”. 10 samples were made from PCM with a collagen concentration of 1%; 10 samples – with a collagen concentration of 2%, 10 control samples – without bio-additives. Testing was carried out on a hydraulic machine IR5092-5 with a capacity of 0.5 tons (Fig. 6). We photographed the flat samples before and after testing (Fig. 6). The test results are presented in Table 2. Test diagrams of samples with collagen on Figure 7 shows the dependence of the compressive force on grip displacement. With the addition of 1% collagen in PCM, the samples withstand the load ( $P_{\max}$  H) more than the samples without bio-additives by 15.57%.

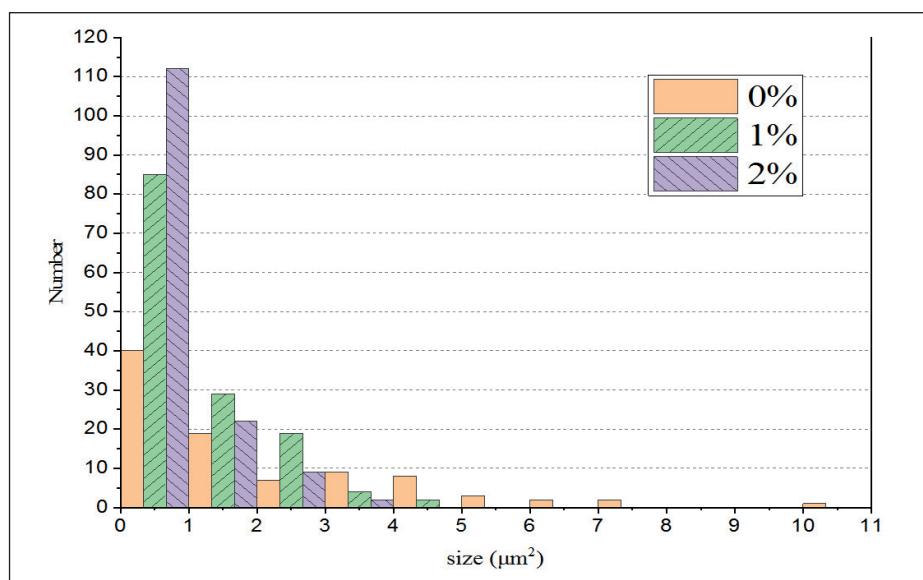


Fig. 4. The number of voids of various sizes depending on the percentage of collagen

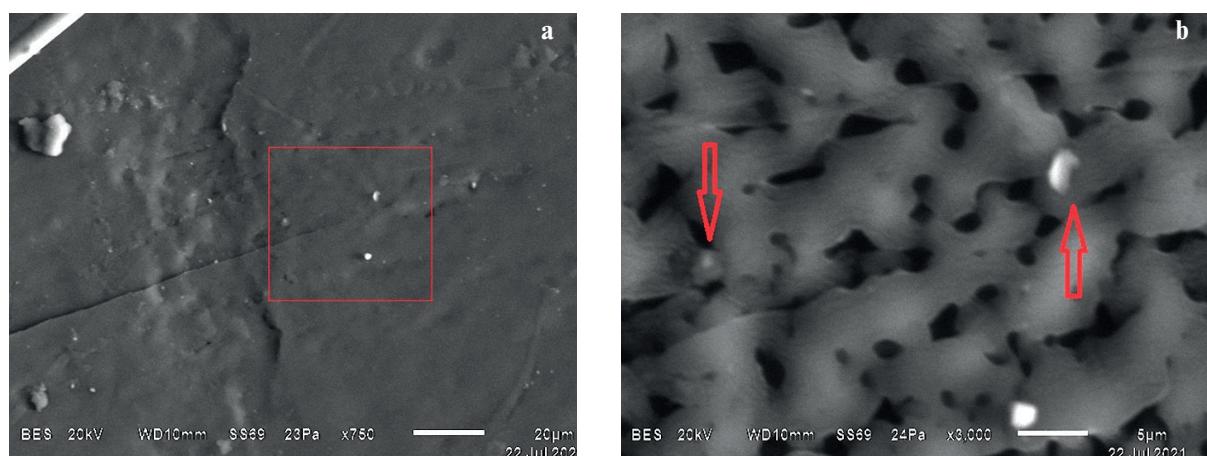


Fig. 5. The surface of polymer composite matrix: a – crack propagation on the matrix surface (2% collagen content); b – collagen at the crack front

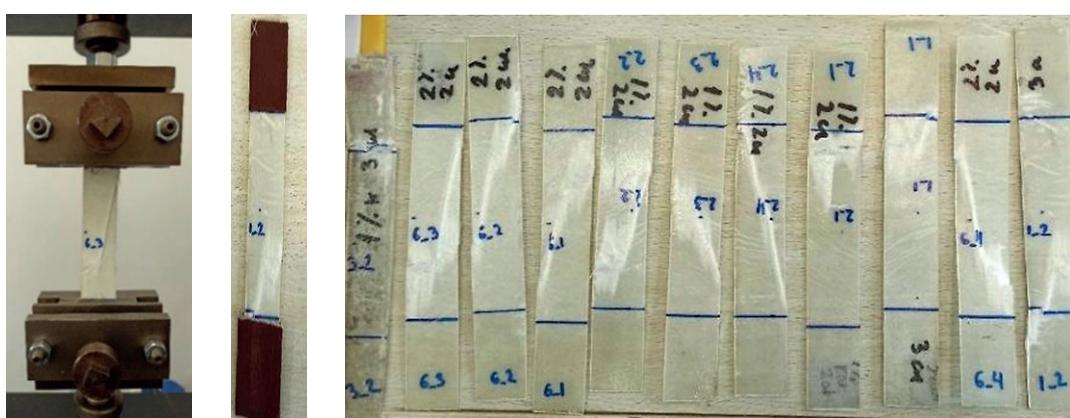
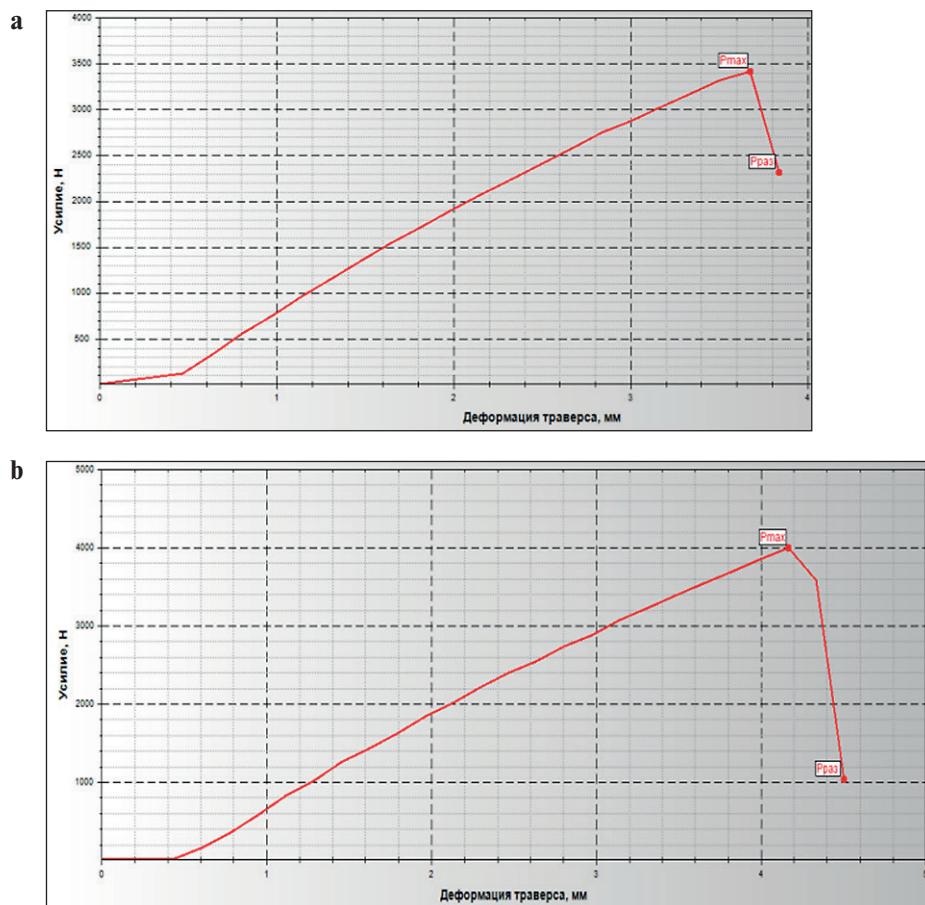


Fig. 6. Samples after tensile tests

**Table 2**  
**The results of tensile testing of the PCM samples**

Название	0% Control sample	1%	2%
$P_{max}$ , H	2900	3433.333	4066.667
$P_{break}$ , H	1350	1950	1066.667
Length of the region at break, mm	94.206	94.184	94.635
Breaking elongation, %	4.673	4.649	5.151
Length of the region at a given tensile stress, mm	0.653	0.579	0.686
Elongation at a given tensile stress, %	0.726	0.643	0.762
Uniform elongation, %	-32.608	-32.690	-32.571



**Fig. 7. PCM tensile test diagrams:** a – tensile test diagram, when adding 1% collagen to the matrix; b – tensile test diagram, when adding 2% collagen to the matrix

## CONCLUSION

A fundamentally new method has been developed for obtaining a bioactive collagen product from solid organic waste of the leather industry at a relatively low price.

It has been established that a bioactive collagen product in a powder form has a low cost and can be used as a bio-additive for PCM. The studies of the PCM samples with the addition of dry collagen powder to the epoxy binder showed that the introduction of bio-additives leads to

a change in the strength properties of the material. An analysis of the cut-offs of the samples, carried out on a JSM-6510LVJEOL scanning electron microscope, revealed a change in the PCM structure. When 1% or 2% collagen is added to the PCM matrix, the amount of chemical elements increases: carbon (C) – by 2.93%, oxygen (O) – by 1.61%, magnesium (Mg) – by 0.11%.

In PCM, collagen particles serve as a barrier to propagation of a crack in the matrix by strengthening the initial binder phase. The tensile tests have shown that when 1% collagen is added to the PCM matrix, the bearing capacity of the samples increases by 15.57%. The results obtained can contribute to the expansion of collagen application, waste reduction in the leather industry due to recycling.

## REFERENCES

1. Chawla K.K. Composite materials science and engineering. *Composites*. 1989, 20 (3). [DOI: 10.1016/0010-4361\(89\)90346-7](https://doi.org/10.1016/0010-4361(89)90346-7).
2. Chajes M.J., Thomson T.A., Januszka T.F., and Finch W.W. Flexural strengthening of concrete beams using externally bonded composite materials. *Construction and Building Materials*. 1994; 8(3): 191–201. [DOI: 10.1016/S0950-0618\(09\)90034-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(09)90034-4).
3. Kustikova Y.O. Application FRP-rebar in the Manufacture of Reinforced Concrete Structures. *Procedia Engineering*. 2016; 153: 361–365. [DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.128](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.128).
4. Tinkov D.V., and Safonov A.A. Design optimization of truss bridge structures of composite materials. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2017; 46(1): 46–52. [DOI: 10.3103/S1052618817010149](https://doi.org/10.3103/S1052618817010149).
5. Fang H., Bai Y., Liu W., Qi Y. and Wang J. Connections and structural applications of fibre reinforced polymer composites for civil infrastructure in aggressive environments. *Composites Part B: Engineering*. 2019; 164: 129–143. [DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.11.047](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.047).
6. Pokrovskii A.M., Chermoshentseva A.S., Bokhoeva L.A. Evaluation of crack resistance of a compressed composite plate with initial delamination. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2021; 50(5): 446–454.
7. Bonnaud L., Pascault J.P., Sautereau H., Zhao J.Q., and Jia D.M. Effect of reinforcing glass fibers on morphology and properties of thermoplastic modified epoxy-aromatic diamine matrix. *Polymer Composites*. 2004; 25(4). [DOI: 10.1002/pc.20030](https://doi.org/10.1002/pc.20030).
8. Awang Ngah S., and Taylor A.C. Fracture behaviour of rubber- and silica nanoparticle-toughened glass fibre composites under static and fatigue loading. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018, 109. [DOI: 10.1016/j.compositesa.2018.02.028](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.02.028).
9. Bokhoeva L.A., Baldanov A.B., Rogov V.E., Chermoshentseva A.S., Ameen T. The effect of the addition of nanopowders on the strength of multilayer composite materials. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 2021; 87(8): 42–50. [DOI: https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-8-42-50](https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-8-42-50).
10. Chermoshentseva A.S., Pokrovskiy A.M., Bokhoeva L.A., Baldanov A.B., Rogov V.E. Influence of modification by nanodispersed powders on layered composite aerospace hulls and protective shields. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2019. P. 012178.
11. Abdurakhmanova L.A., Khozin V.G., Nizamov R.K. Nanomodification of epoxy binders. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(6): 686–695. [DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-6-686-695](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-686-695).
12. Manjunath M., Renukappa N.M., and Suresha B. Influence of micro and nanofillers on mechanical properties of pultruded unidirectional glass fiber reinforced epoxy composite systems. *Journal of Composite Materials*. 2016; 50(8). [DOI: 10.1177/0021998315588623](https://doi.org/10.1177/0021998315588623).
13. Sprenger S. Improving mechanical properties of fiber-reinforced composites based on epoxy resins containing industrial surface-modified silica nanoparticles: Review and outlook. *Journal of Composite Materials*. 2015; 49(1): 53–63. [DOI: 10.1177/0021998313514260](https://doi.org/10.1177/0021998313514260).
14. Uddin M. F., and Sun C. T. Strength of unidirectional glass/epoxy composite with silica nanoparticle-enhanced matrix. *Composites Science and Technology*. 2008; 68(7–8). [DOI: 10.1016/j.compscitech.2008.02.026](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.02.026).
15. Vaganova T.A., Brusentseva T.A., Filippov A.A., and Malykhin E.V. Synthesis and characterization of epoxy-anhydride polymers modified by polyfluoroaromatic oligoimides. *Journal of Polymer Research*. 2014; 21(11). [DOI: 10.1007/s10965-014-0588-z](https://doi.org/10.1007/s10965-014-0588-z).
16. Sprenger S. Improving mechanical properties of fiber-reinforced composites based on epoxy resins containing industrial surface-modified silica nanoparticles: Review and outlook. *Journal of Composite Materials*. 2015; 49(1). [DOI: 10.1177/0021998313514260](https://doi.org/10.1177/0021998313514260).

17. Metal oxides account for 80% of the nanopowder market. Available at: <http://www.abercade.ru/research/analysis/3974.html>. [Accessed 01 December 2010].
18. Lotfi A., Li H., Dao D.V., Prusty G. Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2021; 34(2). DOI: [10.1177/0892705719844546](https://doi.org/10.1177/0892705719844546).
19. Zhao X. et al. Applications of Biocompatible Scaffold Materials in Stem Cell-Based Cartilage Tissue Engineering. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021; 9. DOI: [10.3389/fbioe.2021.603444](https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.603444).
20. Silvipriya K.S., Krishna Kumar K., Bhat A.R., Dinesh Kumar B., John A., Lakshmanan P. Collagen: Animal sources and biomedical application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2015; 5(3). DOI: [10.7324/JAPS.2015.50322](https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50322).
21. Trempe J.P. Molecular biology of the cell. 3rd edition. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 1995; 6(9–10). DOI: [10.1016/1043-2760\(95\)90011-x](https://doi.org/10.1016/1043-2760(95)90011-x).
22. Minihan S. Principles of biochemistry. *Biochemical Education*. 1983; 11(1). DOI: [10.1016/0307-4412\(83\)90020-1](https://doi.org/10.1016/0307-4412(83)90020-1).
23. Shalbuev D.V., Tumurova T.B. A method for obtaining a bioactive collagen product. Patent RF 2715639. Mar. 02, 2020.
24. Anfimov P.E., Krasnova N.S. Method for obtaining collagen from biological material. Patent RF 2322249. Apr. 20, 2008.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Aldar B. Baldanov** – Senior Lecturer of Information Technology and Applied Mechanics Department, Faculty of Civil Engineering, East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia, aldarbaldanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7655-215X>

**Lyubov A. Bokhoeva** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Information Technology and Applied Mechanics Department, Faculty of Civil Engineering, East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia, bohoeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-4307>

**Dmitry V. Shalbuev** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Vice-Rector for Science and Innovation, East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia, shalbuevd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0077-9977>

**Tuyana B. Tumurova** – Engineer of Centre of Collective Using “PROGRESS”, East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia, tumurova\_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2371-5549>

#### CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Baldanov A. B.** – research concept; material processing, text editing.

**Bokhoeva L. A.** – scientific text editing, final results.

**Shalbuev D. V.** – scientific leadership, scientific text editing.

**Tumurova T. B.** – data processing; material accumulation.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 16.02.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 25.03.2022

## Биодобавки на основе коллагена в полимерных композиционных материалах

Алдар Батомункуевич Балданов\* , Любовь Александровна Бохоева , Дмитрий Валерьевич Шалбуев ,  
Туяна Булатовна Тумурова 

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: aldarbaldanov@gmail.com

**АННОТАЦИЯ: Введение.** Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе эпоксидных смол получают широкое распространение в строительной индустрии. Известно их использование в пролетных строениях мостов, плитах проезжей части, тротуарных настилах, арматуре для армирования бетонных конструкций, оболочек, для усиления существующих металлических и железобетонных сооружений; в малонагруженных конструкциях. Для улучшения эксплуатационных характеристик ПКМ используются различные наполнители микро- и наноразмеров. Межфазное взаимодействие между наполнителем и полимерной матрицей играет важную роль в определении прочности создаваемых композиционных материалов. **Методы и материалы.** В статье исследованы свойства ПКМ с наполнителем матрицы – биодобавками на основе коллагена, получаемого из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности. Разработан принципиально новый способ получения биоактивного коллагенового продукта по относительно низкой цене, описанный в патенте RU № 2272808. Проведены исследования образцов из ПКМ на растяжение при добавлении сухого порошка коллагена в эпоксидное связующее. Сделан анализ срезов образцов, проведенных на растровом электронном микроскопе JSM-6510LVJEOL, изучены изменения структуры ПКМ с наполнителями. **Результаты.** При добавлении 1% коллагена в матрицу ПКМ происходит увеличение количества химических элементов: углерода (C) на 2,93%, кислорода (O) на 1,61%, магния (Mg) на 0,11%. Также уменьшаются количество микропор на 4,9% на поверхности матрицы и их размеры, которые служат концентратором напряжений. Результаты испытаний на растяжение показали, что при добавлении 1% коллагена в матрицу ПКМ несущая способность образцов увеличивается на 15,57%. Результаты, полученные в данной работе, могут привести к расширению областей применения коллагена, уменьшению отходов в кожевенном производстве за счет рециклизации.

**Выводы и заключение.** Разработан принципиально новый способ получения биоактивного коллагенового продукта из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности по относительно низкой цене. Установлено, что биоактивный коллагеновый продукт в виде порошка имеет низкую себестоимость и может применяться в качестве биодобавки в ПКМ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коллаген, биодобавка, полимерный композиционный материал, испытание, образцы, прочность.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Молодые ученые ВСГУТУ-2021.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Балданов А.Б., Бохоева Л.А., Шалбуев Д.В., Тумурова Т.Б. Биодобавки на основе коллагена в полимерных композиционных материалах // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 137–144. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-137-144>.

### ВВЕДЕНИЕ

За последние годы полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли применение в различных отраслях промышленности, т.к. имеют высокую прочность и модуль упругости, малый вес, технологичность, невосприимчивость к агрессивным внешним факторам, способность повторять практически любые формы [1] и т.д. Основным материалом

ПКМ служит матрица из полимерного связующего: эпоксидные, фенольные полиамиидные смолы и др., и армирующий наполнитель из углеродных, стеклянных, борных и других волокон. Их комбинация позволяет получить высокопрочные конструкции с заранее заданными свойствами. В строительстве ПКМ используется в качестве усиления бетонных конструкций в виде полос [2], арматур [3], строительстве пешеходных мостов [4], навесов и ограж-

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

дающих конструкций, а также основных несущих элементов, подвергнутых воздействию агрессивной среды [5]. Потребность в таких материалах приводит к исследованиям, связанным с разработкой улучшенных физико-механических свойств ПКМ, таких как: жесткость, вязкость разрушения и несущая способность. Значительное количество недавних исследований показало, что добавление нанодобавок (наночастицы и нановолокна) в эпоксидную матрицу ПКМ улучшает механические свойства таких материалов [6–10]. Введение углеродных нанотрубок в форме дисперсий приводит к увеличению прочности клеевого соединения на отрыв, увеличению механических свойств, к росту микротвердости образцов [11]. Авторы работы [12] исследовали односторонне армированный стекловолокном ПКМ с наноразмерными наполнителями из оксида алюминия, диоксида кремния и тригидрата оксида алюминия микронного размера в эпоксидной смоле. При диапазоне наполнения 10 мас. %, прочность на растяжение, изгиб и ударная вязкость улучшились на 9, 20 и 28% по сравнению со стеклом без наполнителя и стеклом, наполненным оксидом алюминия. В работах [13–15] представлены результаты исследований нанокомпозитов с диоксидом кремния, опубликованные за последние десять лет. Включение наночастиц диоксида кремния резко увеличивает прочность при сжатии и умеренно увеличивает прочность при растяжении. Максимальный эффект наночастиц при внедрении в ПКМ имеет место при диапазоне размеров частиц 10–25 нм [16].

Согласно исследованиям, проведенным компанией Abercade [17], нанодобавки можно разделить на четыре группы: порошки чистых металлов, смеси, оксиды металлов, сложные оксиды. Порошки чистых металлов составляют значительную и все возрастающую долю всего объема производства нанопорошков – 80%. Сложные оксиды и смеси имеются в ограниченном количестве. Результаты испытаний на прочность многослойных ПКМ с наполнителями в виде нанодисперсных добавок и других порошкообразных веществ представлены в работе [18]. Исследования по добавлению биодобавок в эпоксидную матрицу ПКМ ограничены, однако в работе [19] они улучшают такие механические свойства, как: жесткость, вязкость разрушения и несущую способность.

Одними из перспективных наполнителей матрицы КМ являются биодобавки на основе коллагена, получаемые из органосодержащих отходов. По своим свойствам их можно отнести к биоактивным веществам, обладающим оптимальными коллоидно-химическими свойствами. Органсодержащие отходы представляют собой вторичные продукты, образующиеся в процессе переработки кожевенного, мехового, рыбного и мясного сырья. На пред-

приятиях кожевенной промышленности образуется значительное количество твердых органосодержащих отходов, которые содержат до 50% белковых веществ и могут активно применяться в качестве биополимеров. Основной белок таких отходов представлен фибрillлярным белком – коллагеном, составляющим основу соединительной ткани организма и обеспечивающим ее прочность и эластичность.

Коллаген составляет около 20–30% от общего количества белков в организме и обладает уникальной структурой, внутри- и межмолекулярными связями, аминокислотной последовательностью [20–21]. В молекуле коллагена три отдельные полипептидные цепи, богатые пролином и содержащие в каждом третьем положении глицин, закручены одна вокруг другой, образуя тройную спираль. Эти молекулы, в свою очередь, упаковываются в волокна, в которых соседние молекулы скреплены ковалентными сшивками между соседними лизинговыми остатками. Множество сшитых вместе стержнеобразных молекул коллагена образуют прочные нерастяжимые коллагеновые фибриллы, которые обладают прочностью на растяжение, сравнимой с прочностью стали [21]. Коллагеновая соединительная ткань состоит из волокон коллагеновых фибрилл, характеризующихся поперечно-исчерченной структурой. В сухожилиях фибриллы коллагена расположены в виде поперечно связанных параллельных пучков, обладающих очень высокой прочностью на разрыв и практически нерастяжимых. Фибриллы коллагена могут выдерживать нагрузку, вес которой, по меньшей мере, в 10 000 раз превышает их собственный вес [22]. Хотя коллаген традиционно используется в фармацевтической и медицинской промышленности, он также может найти широкое применение в качестве наполнителей для композитов.

Целью работы является исследование влияния биоактивного коллагенового продукта, полученного из органосодержащих отходов кожевенной промышленности, на прочность ПКМ.

В настоящее время имеется значительное количество способов получения биоактивных коллагеновых продуктов в виде наноразмерного порошка из органосодержащих отходов кожевенной промышленности. Разработано несколько способов получения из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности больших объемов наноразмерного порошка по относительно низкой цене. Авторами данной статьи представлен способ получения коллагена из биологического материала, основанного на растворении сырья в уксусной кислоте и ацетоне [23]. Технология получения биополимера, в котором в качестве кислотного растворителя используется кисломолочная композиция, представляющая собой симбиоз кислототolerантных

прокариотических микроорганизмов с продуктами их метаболизма, и используется для снижения потерь белка и сохранения большего числа внутри и межмолекулярных связей в структуре коллагена. На технологию изготовления коллагена получен патент [24]. Готовый коллагеновый продукт представляет собой порошок, с размерами фракций до 1 мкм, коричневого цвета, хорошо растворяемый в воде.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментальных работ были изготовлены образцы из стеклоткани (марка Т-10 (92) ГОСТ 19170-2001). В качестве термореактивной матрицы была использована эпоксидно-диановая неотверженная смола марки ЭД-20 ГОСТ 10587-84, в качестве отверждающего агента для эпоксидной смолы – полиэтиленполиамин ТУ 2413-357-0203447-99. Для равномерного распределения сухого коллагена (1 или 2%) в матрице была использована ультразвуковая ванна AG SONIC TC-150B с водой, нагретой до 45°C, представленная на рис. 1в. Ультразвуковая ванна позволяет снижать возникновение пузырьков воздуха, образующихся в процессе механического перемешивания, способствует равномерному распределению частиц. Замечено, что незначительное количество коллагена размерами до 1 мкм остается нерастворенным (рис. 1б). Разработано и изготовлено специальное устройство для изготовления препрега для образцов с нанодобавками (рис. 1д).

Технологический процесс изготовления образцов состоит из следующих операций. Армирующий наполнитель раскраивают на необходимые размеры, укладывают на нижнюю формовочную пластину (рис. 1д), поверхность формы покрывают гладкой полиэтиленовой пленкой, на нее выкладывают необходимое число слоев материала и между слоями наносят связующее с различной концентрацией коллагена (рис. 1а, б, г). Далее готовый пакет равномерно зажимают гидравлическим прессом (10 т) до упора и оставляют спрессованным на 170 ч при температуре 30°C. Полученный образец разрезают алмазным диском на полоски необходимых размеров.

Проведен анализ определения количественного состава частиц биополимера коллагена в матрице композита на растровом электронном микроскопе JSM-6510LVJEOL с системой микроанализа INCA, установленном в центре коллективного пользования «ПРОГРЕСС» ВСГУТУ (рис. 2). Исследовались срезы образцов размером 1×1 см после испытаний на растяжение, вырезанные с участков разрушения. Были рассмотрены срезы образцов с концентрацией коллагена 1%, 2%; контрольные образцы без коллагена (0%) со слоями [90]. Выявлено, что при добавлении 1% или 2% коллагена в ПКМ происходит увеличение количества химических элементов: углерода (C) – на 2,93%, кислорода (O) – на 1,61%, магния (Mg) – на 0,11%. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Исследования поверхности матрицы с добавлением коллагена 1%, 2% и матрицы без добавления

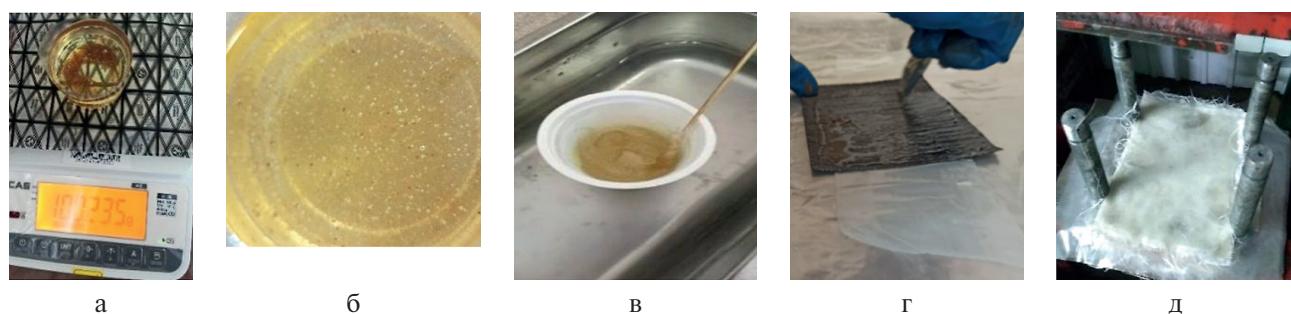


Рис. 1. Этапы изготовления ПКМ с добавками коллагена

*Таблица 1*  
Среднее количество примесей в образцах, %

% содержания биополимера		C	O	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca
100%	В биополимере	<b>47,65</b>	<b>47,97</b>	0,18	<b>0,08</b>	0,13	0,85	0,67	0,43	0,07	<b>1,54</b>
0%	В матрице	<b>34,07</b>	<b>36,5</b>	0,08	<b>1,32</b>	14,33	0,11	0,08	0,11	0,24	<b>9,13</b>
1%	В матрице	<b>36,78</b>	<b>38,6</b>	0,1	<b>1,46</b>	13,34	0,09	0,1	0,13	0,2	<b>9,1</b>
2%	В матрице	<b>39,94</b>	<b>39,72</b>	0,08	<b>1,54</b>	13,78	0,1	0,11	0,17	0,24	<b>9,3</b>

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

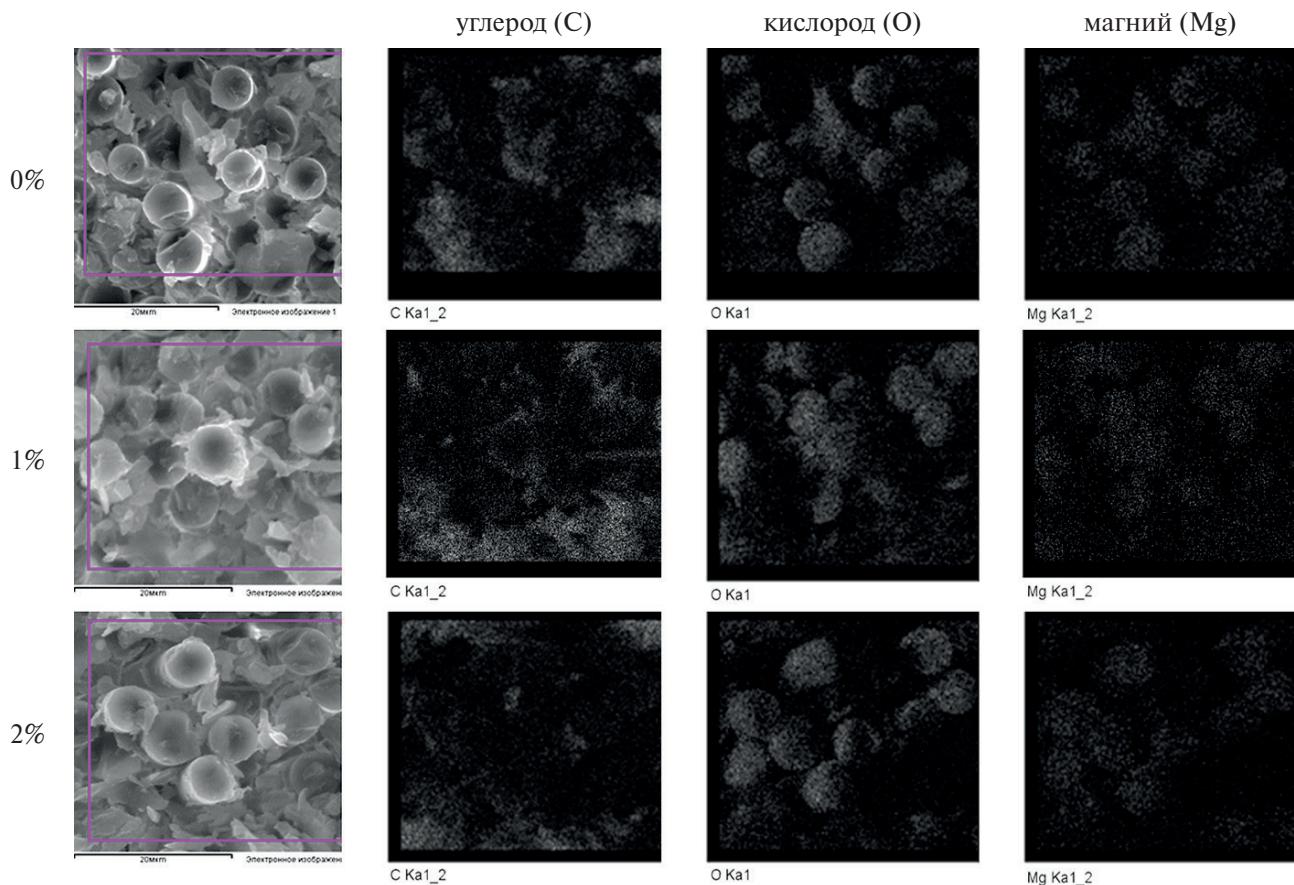


Рис. 2. Анализ определения количественного состава частиц биополимера коллагена в матрице композита

Процентное содержание коллагена	0% – контрольный образец	1%	2%
Поверхность КМ при увеличении			
Микропоры			
Площадь микропор, $\mu\text{m}^2$ %	187,269 14,03%	140,5 10,52%	91,93 6,89%

Рис. 3. Анализ поверхности КМ размером  $38 \times 34$  микрометров ( $\mu\text{m}^2$ ) при увеличении  $\times 1500$

## СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

биодобавок (контрольные образцы) показали, что с добавлением коллагена увеличивается количество микропор (до  $1 \mu\text{m}^2$ ), но при этом снижаются микропоры с размерами более  $1 \mu\text{m}^2$  (рис. 3). Общая площадь микропор уменьшается в среднем на 3,57% при добавлении 1% порошка коллагена. На диаграмме рис. 4 видны площади микропор  $\mu\text{m}^2$  и их количество в зависимости от процентного содержания коллагена.

В дисперсно-упрочненных материалах частицы служат барьером на пути движения трещины в матрице и упрочняют исходную связующую фазу. Напряжение концентрируется в области микронеоднородностей матрицы (микропоры, границы зерен, крупные неравноосные зерна), там и происходит быстрый рост трещин. При добавлении коллагена уменьшается

площадь микропор, что приводит к увеличению прочности матрицы. Так же во время продвижения трещины частицы коллагена служат барьером на ее пути: трещина либо огибает частицу, при этом увеличивается время роста трещины, либо в вершине трещины частицы коллагена деформируются, удлиняются и разрываются, при этом сопротивление развитию трещины повышается, поскольку ее берега перекрываются «мостиками связи» из коллагена (рис. 5).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведены испытания на растяжение образцов из ПКМ с добавлением коллагена 1% и 2% с углами укладки слоев [90], согласно ГОСТу 56785, (ASTM

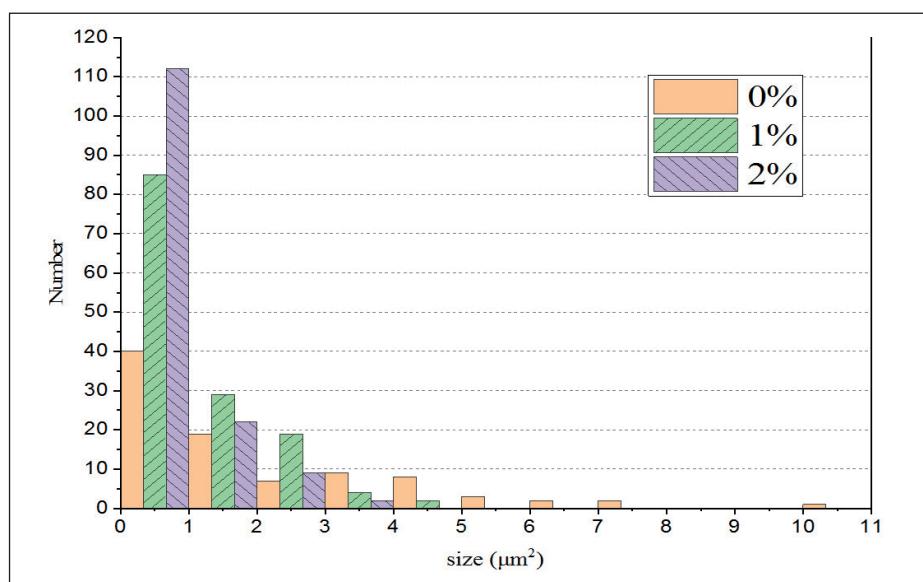


Рис. 4. Количество пустот различных размеров от процентного содержания коллагена

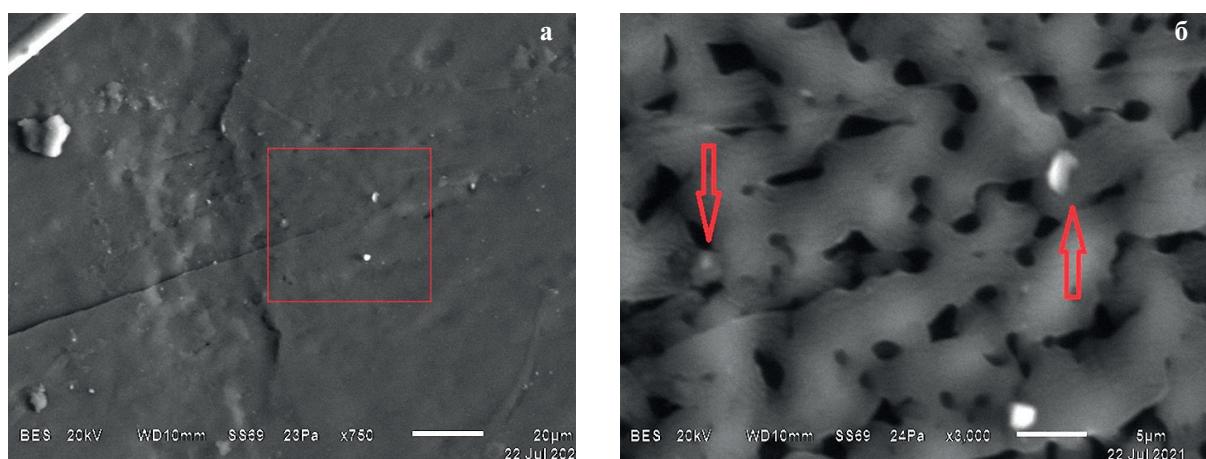


Рис. 5. Поверхность матрицы ПКМ: а – рост трещины на поверхности матрицы (2% содержания коллагена); б – коллаген на фронте трещины

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

D3039) «Метод испытания на растяжение плоских образцов». Было изготовлено 10 образцов из ПКМ с концентрацией коллагена 1%, 10 образцов – с концентрацией коллагена 2%, 10 контрольных образцов – без биодобавок. Испытания проводились на гидравлической машине ИР5092-5 мощностью

0,5 т (рис. 6). Сделаны фотографии плоских образцов до и после испытаний (рис. 6). Результаты испытаний представлены в табл. 2. На рис. 7 представлены диаграммы испытаний образцов с коллагеном, получена зависимость сжимающей силы от перемещения захватов. При добавлении 1% коллагена в ПКМ



Рис. 6. Образцы после испытаний на растяжение

Таблица 2  
Результаты испытаний на растяжение образцов из ПКМ

Название	0% Контрольный образец	1%	2%
$P_{max}$ , Н	2900	3433,333	4066,667
$P_{раз}$ , Н	1350	1950	1066,667
Длина раб. части уч. при разрыве, мм	94,206	94,184	94,635
Отн. удлинение при разрыве, %	4,673	4,649	5,151
Длина уч. при заданном напряжении, мм	0,653	0,579	0,686
Отн. удл. при заданном напряжении, %	0,726	0,643	0,762
Относительное упругое удлинение, %	-32,608	-32,690	-32,571

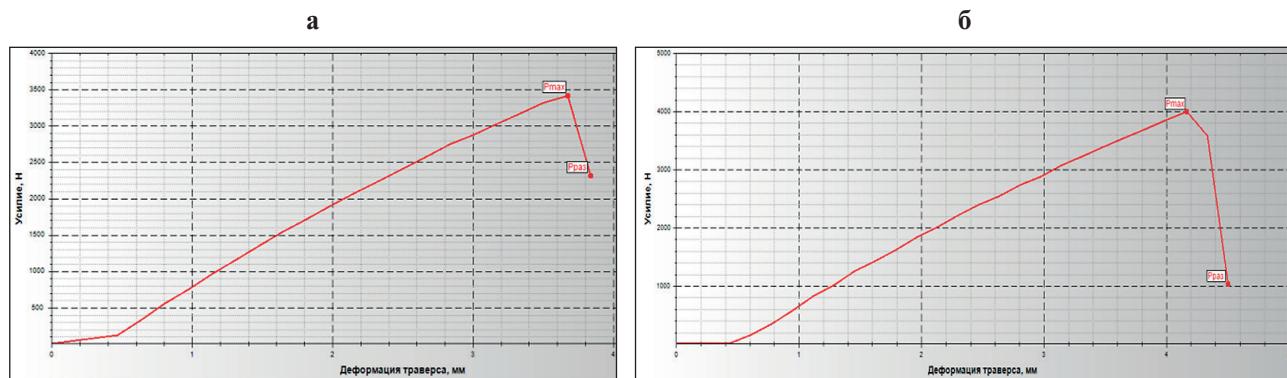


Рис. 7. Диаграммы растяжения образцов из ПКМ: а – диаграмма растяжения образца при добавлении 1% в матрицу; б – диаграмма растяжения образца при добавлении 2% в матрицу

образцы выдерживают нагрузку ( $P_{\max}$  Н) на 15,57% больше, чем образцы без биодобавок.

## ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан принципиально новый способ получения биоактивного коллагенового продукта из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности по относительно низкой цене. Установлено, что биоактивный коллагеновый продукт в виде порошка имеет низкую себестоимость и может применяться в качестве биодобавки в ПКМ. Проведенные исследования образцов из ПКМ при добавлении сухого порошка коллагена в эпоксидное связующее показали, что введение биодобавок при-

водит к изменению прочностных свойств материала. Анализ срезов образцов, проведенных на растровом электронном микроскопе JSM-6510LVJEOL, выявил изменение структуры ПКМ. При добавлении 1% или 2% коллагена в матрицу ПКМ происходит увеличение количества химических элементов: углерода (C) – на 2,93%, кислорода (O) – на 1,61%, магния (Mg) – на 0,11%. В ПКМ частицы коллагена служат барьером на пути движения трещины в матрице и упрочняют исходную связующую фазу. Результаты испытаний на растяжение показали, что при добавлении 1% коллагена в матрицу ПКМ несущая способность образцов увеличивается на 15,57%. Результаты, полученные в данной работе, могут привести к расширению областей применения коллагена.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Chawla K.K. Composite materials science and engineering. *Composites*. 1989, 20 (3). DOI: [10.1016/0010-4361\(89\)90346-7](https://doi.org/10.1016/0010-4361(89)90346-7).
- Chajes M.J., Thomson T.A., Januszka T.F., and Finch W.W. Flexural strengthening of concrete beams using externally bonded composite materials. *Construction and Building Materials*. 1994; 8(3): 191–201. DOI: [10.1016/S0950-0618\(09\)90034-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(09)90034-4).
- Kustikova Y.O. Application FRP-rebar in the Manufacture of Reinforced Concrete Structures. *Procedia Engineering*. 2016; 153: 361–365. DOI: [10.1016/J.PROENG.2016.08.128](https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.128).
- Tinkov D.V., and Safonov A.A. Design optimization of truss bridge structures of composite materials. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2017; 46(1): 46–52. DOI: [10.3103/S1052618817010149](https://doi.org/10.3103/S1052618817010149).
- Fang H., Bai Y., Liu W., Qi Y. and Wang J. Connections and structural applications of fibre reinforced polymer composites for civil infrastructure in aggressive environments. *Composites Part B: Engineering*. 2019; 164: 129–143. DOI: [10.1016/J.COMPOSITESB.2018.11.047](https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.11.047).
- Pokrovskii A.M., Chermoshentseva A.S., Bokhoeva L.A. Evaluation of crack resistance of a compressed composite plate with initial delamination. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2021; 50(5): 446–454.
- Bonnaud L., Pascault J.P., Sautereau H., Zhao J.Q., and Jia D.M. Effect of reinforcing glass fibers on morphology and properties of thermoplastic modified epoxy-aromatic diamine matrix. *Polymer Composites*. 2004; 25(4). DOI: [10.1002/pc.20030](https://doi.org/10.1002/pc.20030).
- Awang Ngah S., and Taylor A.C. Fracture behaviour of rubber- and silica nanoparticle-toughened glass fibre composites under static and fatigue loading. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018, 109. DOI: [10.1016/j.compositesa.2018.02.028](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.02.028).
- Бохова Л.А., Балданов А.Б., Рогов В.Е., Чермошенцева А.С., Амин Т. Влияние добавления нанопорошков на прочность многослойных композитных материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2021. Т. 87, № 8. С. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-8-42-50>
- Chermoshentseva A.S., Pokrovskiy A.M., Bokhoeva L.A., Baldanov A.B., Rogov V.E. Influence of modification by nanodispersed powders on layered composite aerospace hulls and protective shields. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2019. P. 012178.
- Abdrakhmanova L.A., Khozin V.G., Nizamov R.K. Nanomodification of epoxy binders. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(6): 686–695. DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-6-686-695](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-686-695).
- Manjunath M., Renukappa N.M., and Suresha B. Influence of micro and nanofillers on mechanical properties of pultruded unidirectional glass fiber reinforced epoxy composite systems. *Journal of Composite Materials*. 2016; 50(8). DOI: [10.1177/0021998315588623](https://doi.org/10.1177/0021998315588623).
- Sprenger S. Improving mechanical properties of fiber-reinforced composites based on epoxy resins containing industrial surface-modified silica nanoparticles: Review and outlook. *Journal of Composite Materials*. 2015; 49(1): 53–63. DOI: [10.1177/0021998313514260](https://doi.org/10.1177/0021998313514260).

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

14. Uddin M. F., and Sun C. T. Strength of unidirectional glass/epoxy composite with silica nanoparticle-enhanced matrix. *Composites Science and Technology*. 2008; 68(7–8). DOI: [10.1016/j.compscitech.2008.02.026](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.02.026).
15. Vaganova T.A., Brusentseva T.A., Filippov A.A., and Malykhin E.V. Synthesis and characterization of epoxy-anhydride polymers modified by polyfluoroaromatic oligoimides. *Journal of Polymer Research*. 2014; 21(11). DOI: [10.1007/s10965-014-0588-z](https://doi.org/10.1007/s10965-014-0588-z).
16. Sprenger S. Improving mechanical properties of fiber-reinforced composites based on epoxy resins containing industrial surface-modified silica nanoparticles: Review and outlook. *Journal of Composite Materials*. 2015; 49(1). DOI: [10.1177/0021998313514260](https://doi.org/10.1177/0021998313514260).
17. Metal oxides account for 80% of the nanopowder market. Available at: <http://www.abercade.ru/research/analysis/3974.html>. [Accessed 01 December 2010].
18. Lotfi A., Li H., Dao D.V., Prusty G. Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2021; 34(2). DOI: [10.1177/0892705719844546](https://doi.org/10.1177/0892705719844546).
19. Zhao X. et al. Applications of Biocompatible Scaffold Materials in Stem Cell-Based Cartilage Tissue Engineering. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021; 9. DOI: [10.3389/fbioe.2021.603444](https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.603444).
20. Silvipriya K.S., Krishna Kumar K., Bhat A.R., Dinesh Kumar B., John A., Lakshmanan P. Collagen: Animal sources and biomedical application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2015; 5(3). DOI: [10.7324/JAPS.2015.50322](https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50322).
21. Trempe J.P. Molecular biology of the cell. 3rd edition. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 1995; 6(9–10). DOI: [10.1016/1043-2760\(95\)90011-x](https://doi.org/10.1016/1043-2760(95)90011-x).
22. Minihan S. Principles of biochemistry. *Biochemical Education*. 1983; 11(1). DOI: [10.1016/0307-4412\(83\)90020-1](https://doi.org/10.1016/0307-4412(83)90020-1).
23. Патент РФ 2715639, МПК C14C 1/00, A23J 1/10, C07K 14/78. Способ получения биоактивного коллагенового продукта / Шалбуев Д.В., Тумурова Т.Б.; заявитель и патентообладатель ООО МИП «ЭКОМ». № 2019121295, 04.07.2019; опубл. 02.03. 2020. Бюл. № 7. 6 с.
24. Патент РФ 2322249, МПК A61K35/32, A61K35/36, A61K38/39. Способ получения коллагена из биологического материала / Анфимов П.Е., Краснова Н.С.; заявитель и патентообладатель «Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию». № 2006138769/15; заявл. 02.11.2006; опубл. 20.04.2008. Бюл. № 11. 2 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Балданов Алдар Батомункуевич** – ст. преп. кафедры «Информационные технологии и прикладная механика» строительного факультета Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, aldarbaldanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7655-215X>

**Бохоева Любовь Александровна** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедры «Информационные технологии и прикладная механика» строительного факультета Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, bohoeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-4307>

**Шалбуев Дмитрий Валерьевич** – д-р техн. наук, профессор, проректор по науке и инновациям Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, shalbuevd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0077-9977>

**Тумурова Тяна Булатовна** – инженер ЦКП «ПРОГРЕСС» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, tumurova\_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2371-5549>

ВКЛАД АВТОРОВ

**Балданов А.Б.** – концепция исследования, обработка материала, доработка текста;

**Бохоева Л.А.** – научное редактирование текста, итоговые выводы;

**Шалбуев Д.В.** – научное руководство, научное редактирование текста;

**Тумурова Т.Б.** – анализ данных, сбор материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.02.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принятая к публикации 25.03.2022.

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-145-155>

CC BY 4.0

## Optimization of technological parameters for obtaining mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks for cement systems

Artemy S. Balykov\* , Tatyana A. Nizina , Sergey V. Volodin 

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

\* Corresponding author: e-mail: artbalrun@yandex.ru

**ABSTRACT:** **Introduction.** The management of physical and chemical processes of structure formation of high performance cement composites can be provided at several scale levels through the use of modifiers of various nature and mechanism of action, in particular, micro- and nanoscale mineral additives of natural and technogenic origin. It is known that clays and carbonate rocks are promising raw materials to obtain mineral modifiers for cement systems. The purpose of this study was to establish the influence regularities of the prescription and technological parameters (material and granulometric compositions, temperature calcination) to obtain mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks on their activity in cement systems. **Methods and materials.** Polymineral clays and carbonate rocks (dolomite and chalk) from several deposits of the Republic of Mordovia were used as raw materials for obtaining mineral additives. The specific surface area of modifiers was determined on the PSX-12 dispersion analysis device using the Kozeny-Carman method. The study of the granulometric composition of sedimentary rock powders was carried out by laser diffraction method. The research of physical-chemical processes occurring during the heat treatment of polymineral clays and carbonate rocks was carried out using the synchronous thermal analysis method. Optimization of calcination temperature of clay-carbonate mixtures was carried out based on the research results on the effect of their additives on the cement binder activity with the determination of the modifier activity index in accordance with the methodology of the Russian State Standard GOST R 56178-2014. **Results and discussion.** The optimum calcination temperature, located for polymineral clays in the area of 500–800°C, was established according to the study results of dehydration processes of clay minerals using the synchronous thermal analysis. This temperature range corresponds to the initial restructuring processes in the crystal structure of minerals of the kaolinite and illite groups, associated with their dehydroxylation, which contributes to the transition of these phases to the active form. The study results of influence of additives of calcined clay-carbonate mixtures on the cement binder activity proved the thermal analysis data. It was found that calcination of clays and clay-carbonate mixtures at 700°C contributes to obtaining of the most effective mineral modifiers. **Conclusions.** On the totality of studies, regularities were revealed in the system "modifier composition – calcination temperature of sedimentary rocks – mixed binder activity", which allow optimizing the prescription and technological parameters for obtaining mineral additives to achieve the required level of strength characteristics of cement composites.

**KEYWORDS:** cement system, nanomodifier, calcined clay, carbonate rock, granulometric composition, calcination temperature, thermogravimetric analysis, dehydration, activity, optimization.

**ACKNOWLEDGMENTS:** The research was supported by grant from the Russian Science Foundation (project No. 21-73-00228), <https://rscf.ru/en/project/21-73-00228/>.

**FOR CITATION:** Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin S.V. Optimization of technological parameters for obtaining mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks for cement systems. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 145–155. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-145-155>

### INTRODUCTION

The development of energy-efficient high performance cement concretes is topical direction of modern building materials science [1, 2, 3, 4, 5]. The management of physical and chemical processes of structure forma-

tion of such composites can be provided at several scale levels through the use of modifiers of various nature and mechanism of action, in particular, micro- and nanoscale mineral additives of natural and technogenic origin, which contribute to solving problems of resource and energy saving, as well as environmental protection environment

by reducing the clinker capacity of compositions [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

It is known that aluminosilicate rocks, in particular monomineral kaolinite clays ( $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$  or  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) [13], are promising raw materials for obtaining mineral additives. Thermal activation of these clayey rocks within the range of 650–800°C, which contributes to the removal of about 14 wt. % of chemically bounded water, leads to the destruction of their initial crystalline structure and formation of the amorphous phase, called metakaolinite (metakaolin). Metakaolin is sufficiently effective pozzolanic additive [14, 15, 16], however, its degree of application in the cement industry remains low due to a number of reasons, such as the territorial and quantitative limitations of kaolinite clays, the high cost of the resulting enriched raw materials, etc. In this regard, expanding the raw material base of aluminosilicate rocks to obtain effective mineral additives for cement systems is promising direction. Calcined polymineral clays are among the most promising aluminosilicate sedimentary rocks, in view of the fact that their effectiveness can be ensured due to structural features, in particular, the presence of several clay minerals capable of synergetic interaction in composition [17, 18, 19, 20].

In addition to aluminosilicate modifiers, carbonate mineral additives are characterized by increased efficiency in the cement systems. The action of carbonate rocks (limestones, dolomite limestones, dolomites) is based on the ability of the rock-forming mineral (calcite) to act as the crystallization center of new phases [21, 22, 23]. The papers [24, 25] show that the efficiency of carbonate rocks is increased in the presence of aluminosilicate components, which, in addition to tricalcium aluminate contained in cement, can be such aluminum-containing mineral additives, for example, as slags, fly ashes, thermally activated clays, etc. In this connection, the combined use of calcined clays and carbonate rocks in the compositions of modified cement composites is relevant trend.

The purpose of this study was to establish the influence regularities of the prescription and technological parameters (material and granulometric compositions, temperature calcination) to obtain mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks on their activity in cement systems.

To achieve this objective, the following tasks were solved:

1) the grinding ability of the initial clays and carbonate rocks was studied with the establishment of the specific surface area and granulometric composition of the obtained mineral powders;

2) the physical-chemical processes occurring during the heat treatment of polymineral clays and carbonate rocks were researched;

3) the influence of composition and calcination temperature of clay-carbonate mixtures on the cement binder activity was studied;

4) the interrelations and regularities were revealed in the system "modifier composition – calcination temperature of clays and carbonate rocks – mixed binder activity", which allow optimizing the prescription and technological parameters for obtaining mineral additives to achieve the required level of strength characteristics of cement composites.

## METHODS AND MATERIALS

### Materials

The main component of binder in the cement system recipes was Portland cement 500-D0-N (PC) produced by Mordovcement PJSC. The raw materials for obtaining mineral additives (MA) were represented by sedimentary rocks from several deposits of the Republic of Mordovia:

1) clayey rocks such as polymineral clays from the Nikitsky (CN) and Staroshaigovsky (CS) deposits;

2) carbonate rocks such as dolomite from the Yel'nikovsky deposit (DY) and chalk of the Atemarsky deposit (CA).

The research of the physical-chemical efficiency of mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks was carried out on fine-grained concrete compositions containing standard monofractional sand according to the Russian State Standard GOST 6139 as fine aggregate.

### Methods

The evaluation of the grinding ability of the initial mineral raw materials was carried out based on the study results of the grinding time effect on the specific surface area value of the obtained powders of clays and carbonate rocks.

The raw materials were previously dried to a constant weight and mechanically crushed until the pass of particles through screen with hole size of 2.5 mm. The grinding of prepared sedimentary rocks weighing 500 g was carried out in a ball drum mill at a rotation speed of 73 rpm. The milled rocks were sifted through screen with hole size of 0.16 mm while fixing the final product yield by weight. The analysis of the powders obtained as result of grinding and sieving and the determination of their specific surface area were carried out using the PSX-12 dispersion analysis device.

The specific surface area using the PSX-12 dispersion analysis device was determined by the Kozeny-Carman method based on the air permeability and porosity establishment of the powder compacted layer. The gas permeability of the powder layer was measured according to the

filtering time of given air volume through the device at fixed vacuum in its working volume.

The study of the granulometric composition of sedimentary rock powders was carried out by laser diffraction method using the Shimadzu Sald-3101 particle size analyzer, which makes it possible to analyze finely dispersed materials in the particle size range from 50 nm to 3 mm.

The research of physical-chemical processes occurring during the heat treatment of polymineral clays and carbonate rocks was carried out using the synchronous thermal analysis method (STA), when combining thermogravimetric and differential thermal analysis methods. TGA/DSC1 thermogravimetric analyzer was used for the study in addition to data on changes in the weight of the sample (thermogravimetry (TGA)), it automatically provides information about the thermal processes thanks to the signal of differential scanning calorimetry (DSC). During the thermal analysis, the temperature rise rate was 10°C/min. The corresponding experimental TG, DTG and DTA curves were obtained as the research results.

Optimization of calcination temperature of clay-carbonate mixtures was carried out based on the research results on the effect of their additives on the cement binder activity with the determination of the modifier activity index. The activity index of obtained mineral additives was determined under the Russian State Standard GOST R 56178-2014 method by comparing the results of compression strength tests after steaming cement-sand samples-beams of 40×40×160 mm, made using of modified binders consisting of 90% Portland cement and 10% mineral additive (by weight of the binder (PC+MA)), and control samples of unmodified composition with a ratio of cement binder and standard monofractional sand equal to 1/3. The water-binder ratio was taken the same for all compositions, it equated to the value established for the most water-demanding composition when the flow spread diameter of fine-grained concrete mixture from the Hagermann cone was reached of 106–108 mm. The procedure for manufacturing and testing of samples-beams adopted following the requirements of the Russian State Standard GOST 310.4, the mode of heat and humidity treatment is selected following the Russian State Standard GOST R 56178-2014 equal to (3+3+6+2) hours at isothermal holding temperature of 80°C.

Based on the results of determining the compressive strength of steamed samples (the activity of cement binders), the activity index of applied mineral additives ( $C_{MA}$ ) was calculated using the formula

$$C_{MA} = \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

where  $R_1$  and  $R_2$  are compressive strength of samples of unmodified (control) and modified (main) compositions, respectively, MPa.

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Analysis of the grinding ability of clays and carbonate rocks*

The study results of the grinding time effect on the specific surface area value of the obtained powders of clays and carbonate rocks are presented in Table 1.

According to the results of grinding clays and carbonate rocks in the ball mill, the following values of the specific surface area ( $S_s$ ) of powders were achieved: 4,950–7,800 cm<sup>2</sup>/g for the Nikitsky clay (grinding time of 0.5–1.0 hours); 3,100–5,200 cm<sup>2</sup>/g for the Staroshaigovsky clay (grinding time of 0.5–2.0 hours); 11,100–13,500 cm<sup>2</sup>/g for the Atemarsky chalk (grinding time of 0.25–3.0 hours); 3,150–4,550 cm<sup>2</sup>/g for the Yelnikovsky dolomite (grinding time of 0.25–5.0 hours). Thus, among the studied rocks chalk of the Atemarsky deposit has the highest grinding ability, for which powder specific surface area of 13,000 cm<sup>2</sup>/g was achieved during hourly grinding, which is 199%, 67% and 271% higher than the similar indicator of the Yelnikovsky dolomite, Nikitsky clay and Staroshaigovsky clay (4,350 cm<sup>2</sup>/g; 7,800 cm<sup>2</sup>/g and 3,500 cm<sup>2</sup>/g, respectively).

Taking into account the experimental data (Table 1) on achieving the optimal balance in the system “grinding time (energy consumption) – particle size – powder yield by weight”, in further studies the grinding time of the Nikitsky clay, Staroshaigovsky clay, Atemarsky chalk and Yelnikovsky dolomite was taken at 1 hour, 2 hours, 1 hour and 3 hours with the corresponding values of the specific surface area of the obtained powders equal to 7,800 cm<sup>2</sup>/g, 5,200 cm<sup>2</sup>/g, 13,000 cm<sup>2</sup>/g and 4,450 cm<sup>2</sup>/g.

The granulometric composition of powders of carbonate rocks and polymineral clays is analyzed taking into account the accepted grinding time. The integral curves of the volumetric particle size distribution for sedimentary rock powders are shown in Figure 1. The key indicators of the granulometric composition of the studied materials, determined by the laser diffraction method, are generalized in Table 2.

According to the study results (Fig. 1 and Table 2) the particle size ranges equal to 0.2–15.3 μm, 0.3–45.9 μm, 0.3–8.8 μm and 0.2–17.0 μm for powders of the Nikitsky clay, Staroshaigovsky clay, Atemarsky chalk and Yelnikovsky dolomite, respectively. At the same time, the average volumetric diameter (d 50%) of the powder particles increases in sequence CA → DY → CN → CS (1.3 μm, 2.9 μm, 3.8 μm and 5.7 μm, respectively).

### *Physical-chemical processes occurring during the heat treatment of polymineral clays and carbonate rocks*

According to the data shown in Figures 2 and 3, it is possible to distinguish the main stages of the mineral

Table 1

Specific surface area of powders of polymineral clays and carbonate rocks depending on the grinding time of material

No.	Grinding time	Specific surface area, $\text{cm}^2/\text{g}$
<i>Clay from the Nikitsky deposit</i>		
1	30 minutes	4,950
2	1 hour	7,800
<i>Clay from the Staroshaigovsky deposit</i>		
3	30 minutes	3,100
4	1 hour	3,500
5	2 hours	5,200
<i>Chalk of the Atemarsky deposit</i>		
6	15 minutes	11,100
7	30 minutes	12,200
8	1 hour	13,000
9	3 hours	13,500
<i>Dolomite from the Yel'nikovsky deposit</i>		
10	15 minutes	3,150
11	30 minutes	3,850
12	1 hour	4,350
13	3 hours	4,450
14	5 hours	4,550

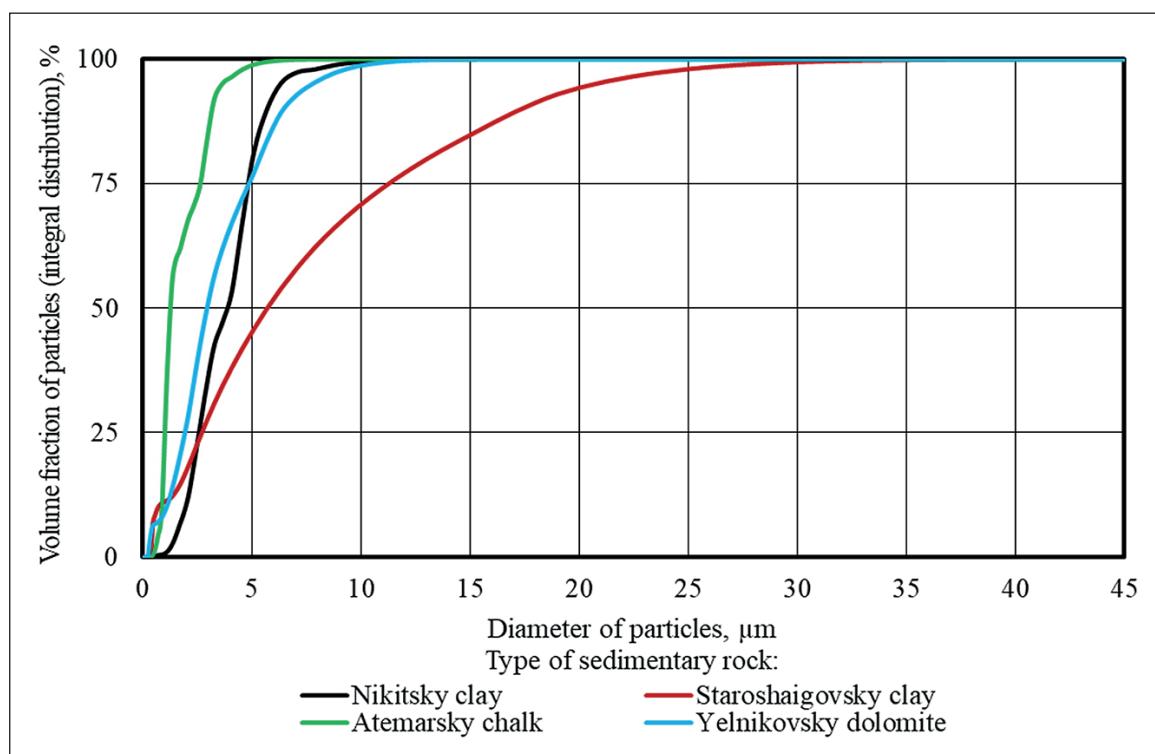


Fig. 1. Integral curves of the volumetric distribution of powder particles of the studied sedimentary rocks

Table 2

**Key indicators of the granulometric composition of the studied sedimentary rock powders according to the laser diffraction method**

Type of sedimentary rock	Particle size range, $\mu\text{m}$	Particle size, $\mu\text{m}$		
		d 90%	d 50%	d 10%
Nikitsky clay (grinding time of 1 hour)	0.2–15.3	5.8	3.8	1.9
Staroshaigovsky clay (grinding time of 2 hours)	0.3–45.9	17.4	5.7	0.7
Atemarsky chalk (grinding time of 1 hour)	0.3–8.8	3.2	1.3	0.9
Yelnikovsky dolomite (grinding time of 3 hours)	0.2–17.0	6.5	2.9	1.1

dehydration processes of the Nikitsky clay and Staroshaigovsky clay during gradual and continuous heating.

A number of endothermic effects are observed on the DTA curves for the researched clay rocks. Endoeffects in the temperature range from 40°C to 300°C (temperature maximums at 85°C, 125°C and 265°C (Nikitsky clay); 90°C, 140°C and 265°C (Staroshaigovsky clay)) are caused by the loss of chemically unbound water (free, adsorbed, zeolite) by clay rocks [18, 19]. The increased content of free iron hydroxides characteristic of the Nikitsky clay gives noticeable additional endothermic effect in the range of 350–450°C with temperature peak at 405°C (DTA curve), as well as mass loss in the region of 300–400°C (TG and DTG curves) (Fig. 2).

The following endothermic effects in the temperature range of 450–600°C and 600–750°C are associated with successive processes of separation of constitutional water from the main clay minerals of the kaolinite and illite groups. Temperature maximums of kaolinite and

illite dehydroxylation endoeffects for the Nikitsky and Staroshaigovsky clays are 495°C and 680°C, 485°C and 650°C, respectively (Figs. 2 and 3). In this case, according to the TG and DTG curves of dehydration, a more significant mass loss in the temperature range of 400–550°C for the Nikitsky clay indicates the increased total content of minerals of the illite and kaolinite groups in its phase composition compared to the Staroshaigovsky clay.

It is worth noting that in addition to the presence of successive endothermic effects of separation of constitutional water from minerals of the kaolinite and illite groups, in the temperature range of 550–600°C it is possible to endoeffect overlay associated with the polymorphic transformation of quartz from  $\alpha$  to  $\beta$  modification.

In the temperature range of 900–950°C on the DTA curve for the Nikitsky clay (Fig. 2), a blurred exoeffect is observed with peak in the region of 905–915°C, which can characterize the formation of sillimanite or mullite from dehydrated kaolinite.

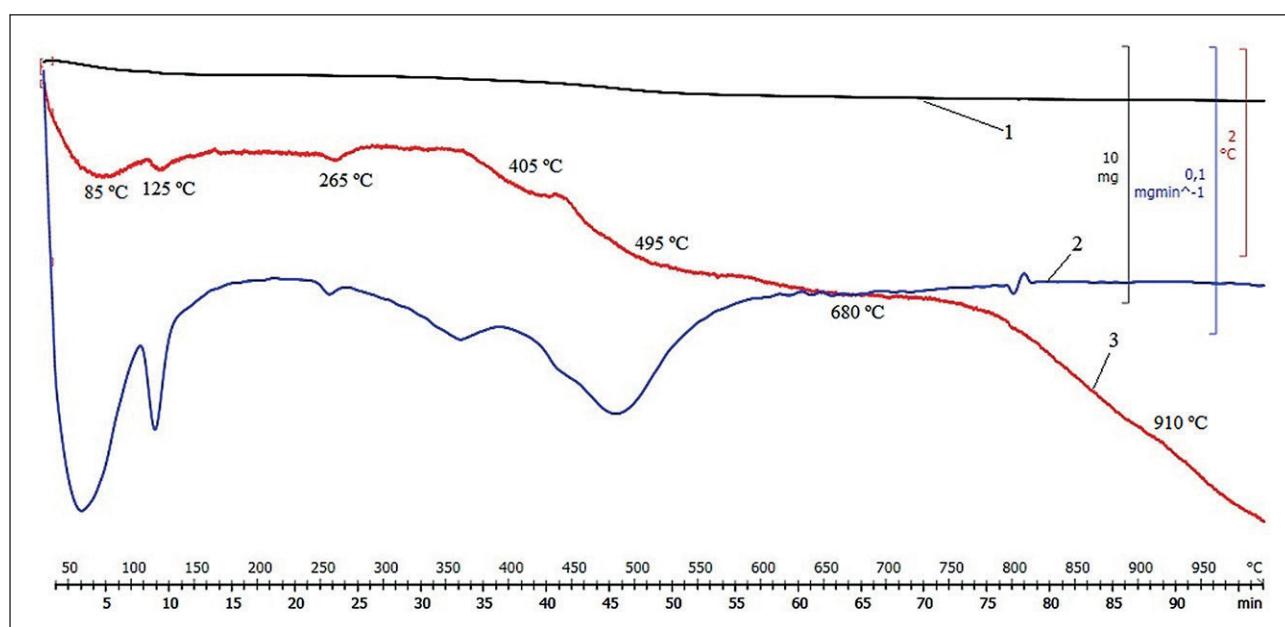


Fig. 2. TG (1), DTG (2) and DTA (3) curves for the Nikitsky clay powder

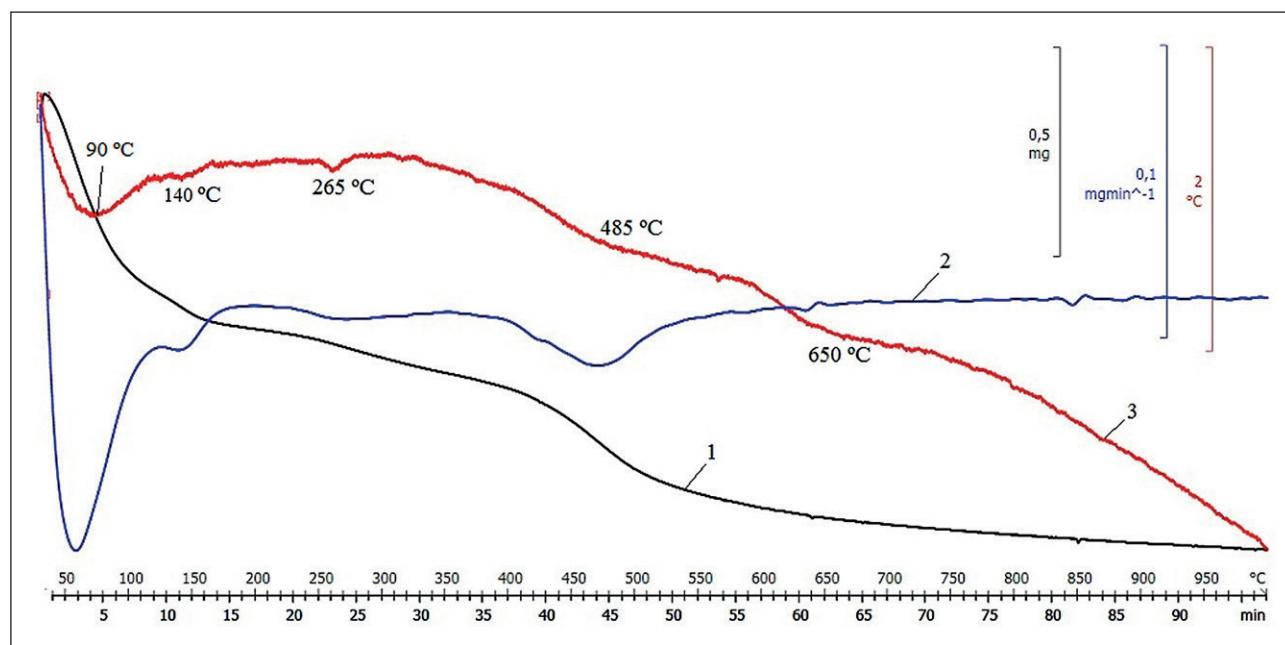


Fig. 3. TG (1), DTG (2) and DTA (3) curves for the Staroshaigovsky clay powder

From the literature data [18], it is known that from the beginning of the dehydration process to its completion, the crystal structure of clay minerals undergoes gradual changes until the total destruction of the crystal lattice (amorphization). Changes in the state and shape of the crystal lattice, the break of individual bonds lead to an increase in the pozzolanic (chemical) activity of minerals. At the same time, the initial thermal destruction products of clay minerals with metastable crystal lattice are characterized by increased activity.

Thus, summarizing the obtained results of thermal analysis, we can conclude that the optimal calcination temperature of the Nikitsky and Staroshaigovsky clays is in the area of 500–800°C. This temperature range corresponds to the initial restructuring processes in the crystal structure of minerals of the kaolinite and illite groups, associated with their dehydroxylation, which contributes to the transition of these phases to the active form.

The study results of the physical-chemical processes occurring during the calcination of carbonate rocks

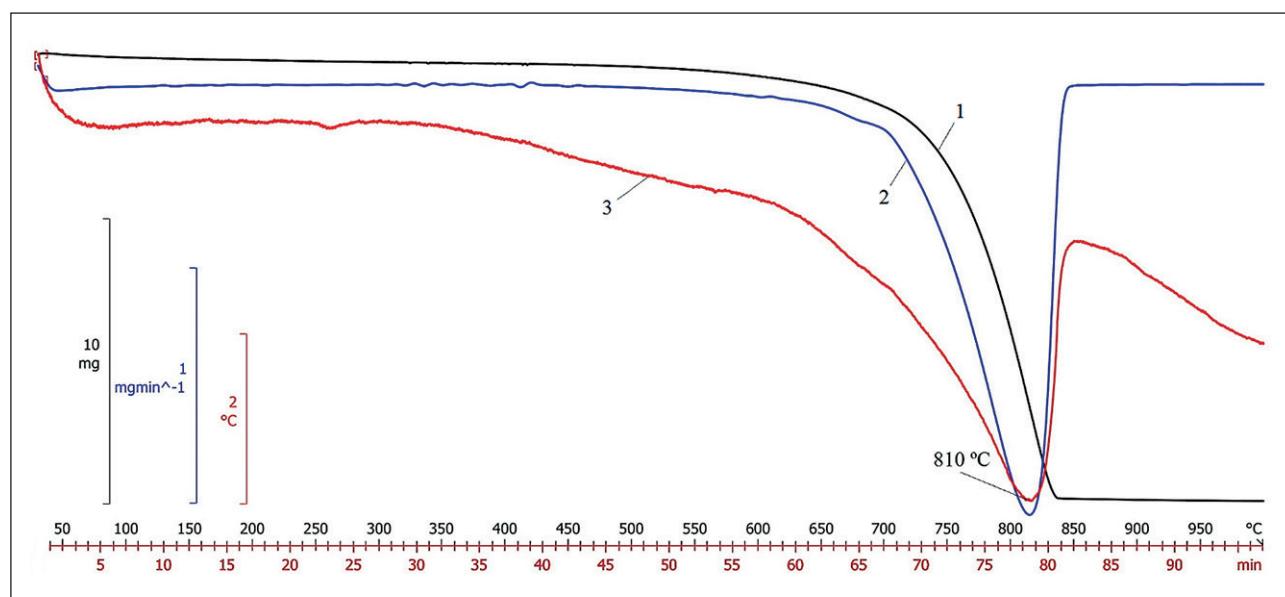


Fig. 4. TG (1), DTG (2) and DTA (3) curves for the Atemarsky chalk powder

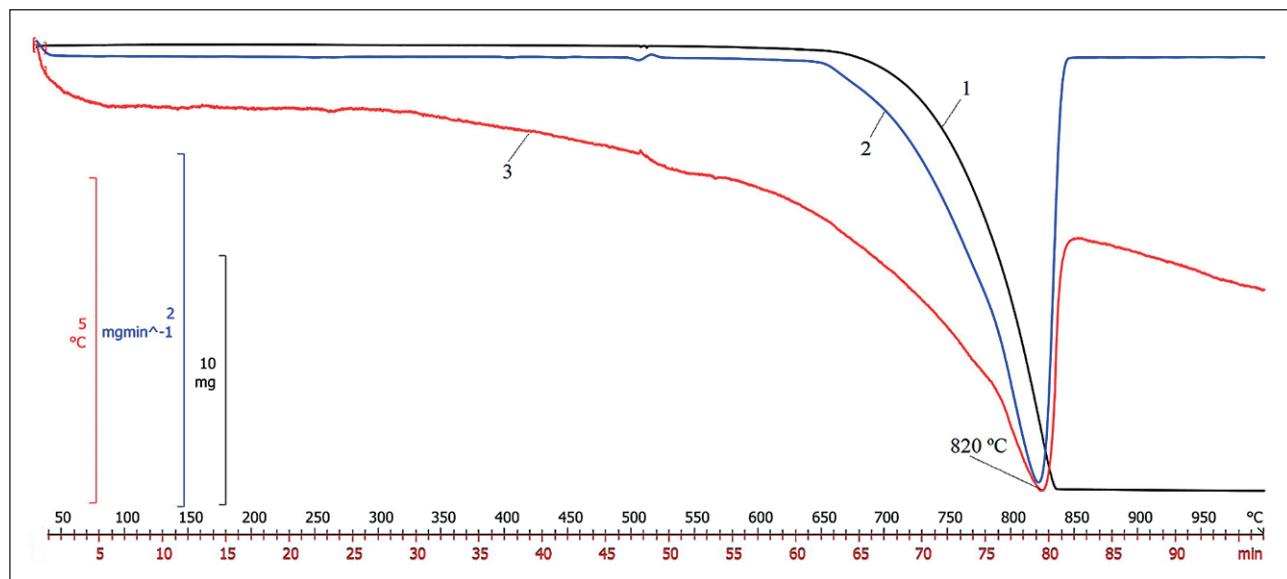


Fig. 5. TG (1), DTG (2) and DTA (3) curves for the Yelnikovsky dolomite powder

(Atemarsky chalk and Yelnikovsky dolomite) are shown in Figures 4 and 5.

According to Figure 4, deep endothermic effect with the temperature maximum at 810°C is observed on the DTA heating curve for chalk of the Atemarsky deposit. At the same time significant weight loss in the temperature range of 700–850°C, characterizing the dissociation of calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) to  $\text{CaO}$  and  $\text{CO}_2$ , is established on the TG dehydration curve.

The DTA, TG and DTG curves of the Yelnikovsky dolomite (Fig. 5) have a close similarity to the corresponding thermograms of the Atemarsky chalk. In particular, the endoeffect corresponding to the calcite decomposition is represented by temperature peak at 820°C, and the main weight loss occurs in the temperature range of 650–850°C. At the same time, the existence of inflection at 770–800°C is established on the DTA curve in area of the main endoeffect. This segment of the DTA curve can characterize the decomposition of dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) to calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) and magnesite ( $\text{MgCO}_3$ ) with their subsequent dissociation.

#### *Optimization of calcination temperature of clay-carbonate mixtures according to the effect of their additives on the cement binder activity*

At the first stage, the influence of additives of thermally activated clays of the Nikitsky and Staroshaigovsky deposits on the mixed cement binder activity was studied when the calcination temperature of sedimentary rocks varied at the levels of 200°C, 400°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C. At the same time, the calcination time at the specified temperature levels (the isothermal holding time) was fixed at 2 hours. In addition to unmodified

composition, the control composition was cement system with additive of metakaolin MKZhL-2 (MKN) (10% of the binder weight (PC+MA)) with specific surface area of 16,500  $\text{cm}^2/\text{g}$  produced by Plast-Rifey LLC. The study results are shown in Figure 6.

It was found that the calcination of the Nikitsky and Staroshaigovsky clays allows increasing the compressive strength of fine-grained concrete from 32.9 MPa and 31.1 MPa (for compositions with additives of non-calcined clays) to 33.6–36.4 MPa and 31.2–32.7 MPa, respectively (Fig. 6). At the same time, the activity of cement binder with additives of the thermally activated Nikitsky clay is higher than in compositions with the Staroshaigovsky clay at any calcination temperature in the studied range, which is explained by higher content of reactive clay minerals (kaolinite and illite) in the phase composition of the first clay compared to the second one.

Heat treatment of the Staroshaigovsky clay does not allow to get mixed cement binder with activity higher than the same indicator for Portland cement (the activity index of calcined clay  $C_{MA} = 0.90–0.94 < 1$ ). At the same time, a number of compositions with thermally activated Nikitsky clay have compressive strength exceeding that of the unmodified composition. In particular, replacing 10% of Portland cement with additive of the Nikitsky clay calcined at 600–700°C allows achieving the mixed binder activity of 35.5–36.4 MPa, which is higher than the activity of Portland cement and mixed binder based on Portland cement and metakaolin (Fig. 6).

Thus, according to the study results, the optimal temperature interval of calcination of the polymineral clays is 600–700°C, which is consistent with the data of thermal analysis for the temperature range of dehydroxylation of the main reactive minerals, such as

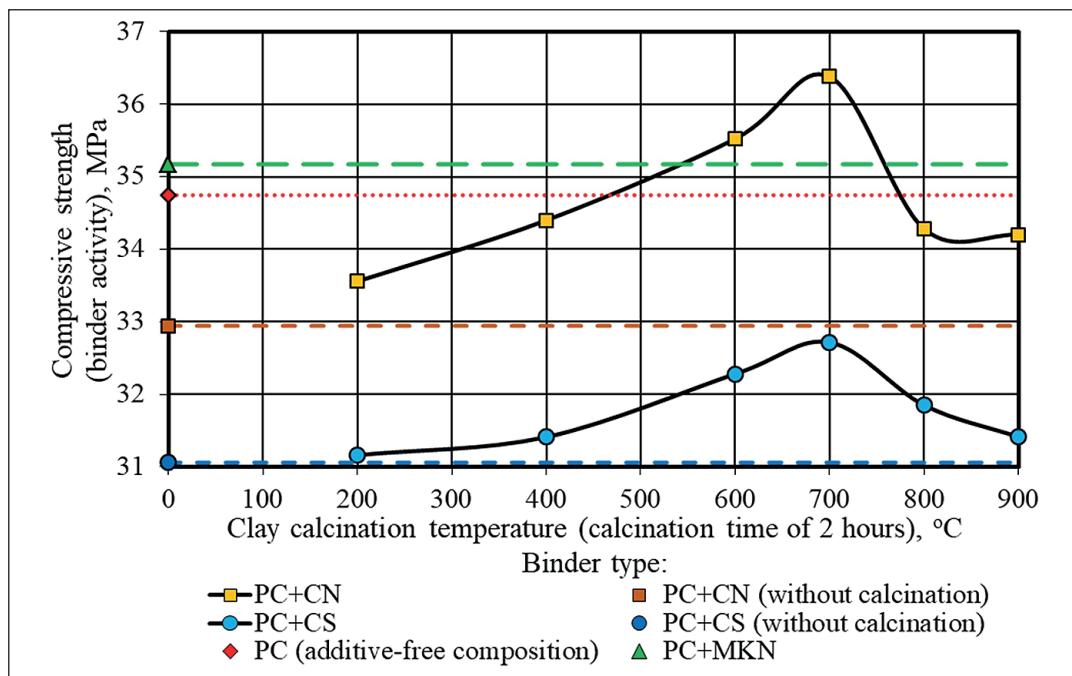


Fig. 6. Influence of clay calcination temperature on the activity of mixed cement binders (calcination time of 2 hours)

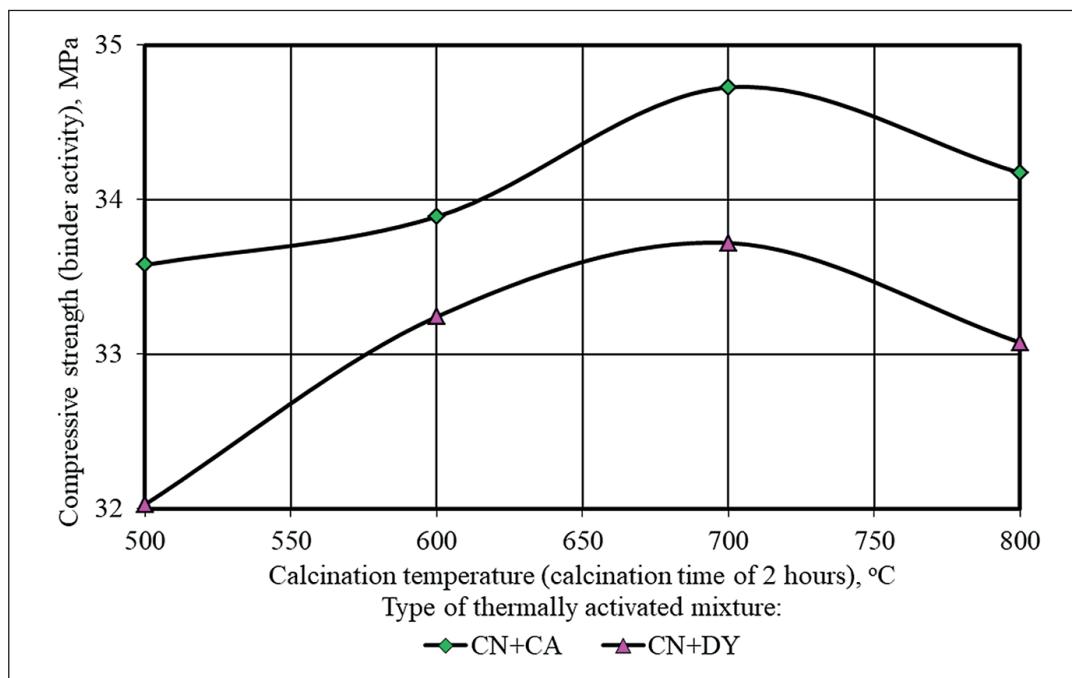


Fig. 7. Influence of calcination temperature of mixtures of the Nikitsky clay and carbonate rocks on the cement binder activity (calcination time of 2 hours)

kaolinite and illite (Figs. 2 and 3). Thermal activation of clays in the specified range contributes to the obtaining of mineral additives with the highest values of activity index. In particular, modifiers based on the Nikitsky

clay calcined at 600–700°C are active mineral additives with the activity index of  $C_{MA} = 1.02–1.05 > 1$ , which is higher than the similar index of metakaolin MKZhL-2 ( $C_{MA} = 1.01$ ).

At the second stage, the influence of additives of calcined mixtures of Nikitsky clay (as the most effective clay in cement systems according to the previous study results) and carbonate rocks (Atemarsky chalk and Yel'nikovsky dolomite) at the ratio of components equal to 1/1 on the cement binder activity was researched when the calcination temperature of sedimentary rocks varied at the levels of 500°C, 600°C, 700°C and 800°C. At the same time, the calcination time at the specified temperature levels (the isothermal holding time) was fixed at 2 hours. The study results are shown in Figure 7.

It was found that the strength characteristics of cement composites with additives of thermally activated mixtures of the Nikitsky clay and Atemarsky chalk are 2.1–5.0% higher than those of compositions using calcined mixtures of the Nikitsky clay and Yel'nikovsky dolomite at the same calcination temperature.

In compositions with additives of the calcined mixtures of clay and chalk as well as clay and dolomite, the highest values of the mineral modifier activity index, respectively, equal to 1.00 and 0.97 rel. units, were achieved with the thermal activation temperature of 700°C. At the same time, at this calcination temperature the maximum activity of the mixed binder recorded in the composition with additive of the calcined mixture "Nikitsky clay + Atemarsky chalk" (34.7 MPa), which is equal to the same indicator of Portland cement in the additive-free composition (34.7 MPa, Fig. 6) and 4.7% lower than parameter of binder with individual additive of the Nikitsky clay (36.4 MPa, Fig. 6).

## CONCLUSIONS

The following results were obtained from experimental studies:

1) the evaluation of the grinding ability of the initial clays and carbonate rocks was carried out according to

the specific surface area and granulometric composition of the obtained mineral powders;

2) the physical-chemical processes occurring during the heat treatment of polymineral clays and carbonate rocks were disclosed using the synchronous thermal analysis method;

3) the influence of composition and calcination temperature of clay-carbonate mixtures was established on the cement binder activity (the Russian State Standard GOST 310.4) with determination of the activity index of mineral modifier;

4) the interrelations and regularities were revealed in the system "modifier composition – calcination temperature of clays and carbonate rocks – mixed binder activity", which allow optimizing the prescription and technological parameters for obtaining mineral additives to achieve the required level of strength characteristics of cement composites.

According to the study results of dehydration processes of clay minerals using the synchronous thermal analysis method, it was established that the optimal calcination temperature for clays of the Nikitsky and Staroshaigovsky deposits located in the area of 500–800°C. This temperature range corresponds to the initial restructuring processes in the crystal structure of minerals of the kaolinite and illite groups, associated with their dehydroxylation, which contributes to the transition of these phases to the active form.

The study results of influence of additives of calcined clay-carbonate mixtures on the cement binder activity confirmed the thermal analysis data. It was found that calcination of clays and clay-carbonate mixtures at 700°C contributes to obtaining of the most effective mineral modifiers. Using this calcination temperature, replacing 10% of Portland cement with additive of the thermally activated Nikitsky clay allows achieving the binder activity exceeding the same indicator of mixed binder based on Portland cement and high-quality metakaolin.

## REFERENCES

1. Zhou M., Lu W., Song J., Lee G.C. Application of Ultra-High Performance Concrete in bridge engineering. *Construction and Building Materials.* 2018; 186: 1256–1267. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.036>
2. Shin H.O., Yoo D.Y., Lee J.H., Lee S.H., Yoon Y.S. Optimized mix design for 180 MPa ultra-high-strength concrete. *Journal of Materials Research and Technology.* 2019; 8: 4182–4197. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.027>
3. Kalashnikov V.I. Evolution of Development of Concretes Compositions and Change in Concrete Strength. Concretes of Present and Future. Part 1. Change in Compositions and Strength of Concretes. *Construction Materials.* 2016; 1-2: 96–103.
4. Kapriev S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Chilin I.A. About selection of compositions of high-quality concretes with organic-mineral modifiers. *Construction Materials.* 2017; 12: 58–63.
5. Balykov A.S., Nizina T.A., Kyashkin V.M., Volodin S.V. Prescription and technological efficiency of sedimentary rocks of various composition and genesis in cement systems. *Nanotechnologies in Construction.* 2022; 14(1): 53–61. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>

6. Ghafari E., Costa H., Júlio E., Portugal A., Durães L. The effect of nanosilica addition on flowability, strength and transport properties of ultra high performance concrete. *Materials and Design*. 2014; 59: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.051>
7. Strokova V.V., Markova I.Yu., Markov A.Yu., Stepanenko M.A., Nerovnaya S.V., Bondarenko D.O., Botsman L.N. Properties of a composite cement binder using fuel ashes. *Key Engineering Materials*. 2022; 909: 184–190. <https://doi.org/10.4028/p-tm4y4j>
8. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S., Korovkin D.I. Multicriteria optimization of the formulation of modified fine-grained fibre concretes containing carbon nanostructures. *International Journal of Nanotechnology*. 2018; 15: 333–346. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094790>
9. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(3): 130–139. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139>
10. Tarakanov O.V., Belyakova E.A. The influence of integrated mineral additives on the strength and composition of cement materials hydration. *Regional architecture and engineering*. 2020; 4(45): 46–52.
11. Falikman V.R., Sobolev K.G. «There's plenty of room at the bottom», or how nanotechnologies can change the world of concrete. Part 1. *Nanotechnologies in Construction*. 2010; 2(6): 17–31.
12. Nizina T.A., Balykov A.S. Formation of experimental-statistical models “composition – property” of physical and mechanical properties of modified fiber-reinforced fine-grained concretes. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2016; 45(64): 54–66.
13. Tironi A., Castellano C.C., Bonavetti V.L., Trezza M.A., Scian A.N., Irassar E.F. Kaolinitic calcined clays – Portland cement system: Hydration and properties. *Construction and Building Materials*. 2014; 64: 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.065>
14. Kocak Y. Effects of metakaolin on the hydration development of Portland–composite cement. *Journal of Building Engineering*. 2020; 31: 101419. <https://doi.org/10.1016/j.jobr.2020.101419>
15. Chand G., Happy S.K., Ram S. Assessment of the properties of sustainable concrete produced from quaternary blend of portland cement, glass powder, metakaolin and silica fume. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021; 4: 100179. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100179>
16. Kirsanova A.A., Kramar L.Ya. Organomineral modifiers based on metakaolin for cement concretes. *Construction Materials*. 2013; 11: 54–56.
17. Habert G., Choupy N., Escadeillas G., Guillaume D., Montel J.M. Clay content of argillites: Influence on cement based mortars. *Applied Clay Science*. 2009; 43: 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.09.009>
18. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2011; 41: 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013>
19. Gaifullin A.R., Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone. *Magazine of Civil Engineering*. 2015; 7(59): 66–73. <https://doi.org/10.5862/MCE.59.7>
20. Volodin V.V., Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Kozlyatnikov I.S., Bashkaev D.S., Grigoryeva A.A. Experience of application of calcined clay as a mineral additive for cement composites. In: *Durability of building materials, products and structures: materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference*. Saransk: Mordovian University Press; 2018. p. 36–42.
21. Lin R.-S., Wang X.-Y., Yi-Han. Effects of cement types and addition of quartz and limestone on the normal and carbonation curing of cement paste. *Construction and Building Materials*. 2021; 305: 124799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124799>
22. Lollini F., Redaelli E., Bertolini L. Effects of portland cement replacement with limestone on the properties of hardened concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2014; 46: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.10.016>
23. Celik K., Hay R., Hargis C.W., Moon J. Effect of volcanic ash pozzolan or limestone replacement on hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2019; 197: 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.193>
24. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*. 2012; 42: 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006>
25. Tang J., Wei S., Li W., Ma S., Ji P., Shen X. Synergistic effect of metakaolin and limestone on the hydration properties of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2019; 223: 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.059>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Artemy S. Balykov** – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher at the Research Laboratory of Ecological and Meteorological Monitoring, Building Technologies and Expertises, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, artbalrun@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9087-1608>

**Tatyana A. Nizina** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor at the Department of Building Constructions, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, nizinata@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2328-6238>

**Sergey V. Volodin** – student, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, svolodin12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2018-4487>

#### CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

**The authors declare no conflicts of interests.**

The article was submitted 16.02.2022; approved after reviewing 30.03.2022; accepted for publication 04.04.2022.

Научная статья

УДК 691.54; 691.3

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-145-155>

CC BY 4.0

## Оптимизация технологических параметров получения минеральных добавок на основе прокаленных глин и карбонатных пород для цементных систем

Артемий Сергеевич Балыков\* , Татьяна Анатольевна Низина , Сергей Валерьевич Володин 

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: artbalrun@yandex.ru

**РЕЗЮМЕ: Введение.** Управление физико-химическими процессами структурообразования высокофункциональных цементных композитов может обеспечиваться на нескольких масштабных уровнях за счет использования модификаторов различной природы и механизма действия, в частности микро- и наноразмерных минеральных добавок природного и техногенного происхождения. Известно, что перспективным сырьем для получения минеральных модификаторов для цементных систем являются глинистые и карбонатные породы. Целью данного исследования явилось установление закономерностей влияния рецептурно-технологических параметров получения минеральных добавок (вещественный и гранулометрический состав, температура обжига) на основе прокаленных глинистых и карбонатных пород на их активность в цементных системах. **Методы и материалы.** Исходным сырьем для получения минеральных добавок являлись полиминеральные глины и карбонатные породы (доломит и мел) ряда месторождений Республики Мордовия. Удельная поверхность модификаторов определялась по методу Козени-Кармана на приборе дисперсионного анализа ПСХ-12. Исследование гранулометрического состава порошков осадочных пород осуществлялось методом лазерной дифракции. Изучение физико-химических процессов, протекающих при термообработке полиминеральных глин и карбонатных пород, проводилось с применением метода синхронного термического анализа. Оптимизация температуры обжига глинисто-карбонатных композиций осуществлялась по результатам исследования влияния их добавок на активность цементного вяжущего с определением индекса активности модификатора в соответствии с методикой ГОСТ Р 56178-2014. **Результаты и обсуждение.** По результатам исследования процессов дегидратации глинистых минералов установлено, что оптимальная температура обжига полиминеральных глин находится в области 500–800°C. Данному температурному диапазону соответствуют процессы начальной перестройки кристаллической структуры минералов каолинитовой и иллитовой групп, связанные с их дегидроксилированием, что способствует переходу указанных фаз в активную форму. Результаты исследования влияния добавок обожженных глинисто-карбонатных композиций на активность цементного вяжущего подтвердили данные термического анализа. Установлено, что получению наиболее эффективных минеральных модификаторов способствует прокаливание глин и глинисто-карбонатных смесей при температуре 700°C. **Заключение.** По совокупности исследований выявлены закономерности в системе «состав модификатора – температура обжига осадочных пород – активность смешанного вяжущего», позволяющие оптимизировать рецептурно-технологические параметры получения минеральных добавок для достижения требуемого уровня прочностных характеристик цементных композитов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** цементная система, наномодификатор, прокаленная глина, карбонатная порода, гранулометрический состав, температура обжига, термогравиметрический анализ, дегидратация, активность, оптимизация.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-73-00228), <https://rscf.ru/project/21-73-00228>.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Балыков А.С., Низина Т.А., Володин С.В. Оптимизация технологических параметров получения минеральных добавок на основе прокаленных глин и карбонатных пород для цементных систем // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 145–155. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-145-155>

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальным направлением современного строительного материаловедения является разработка

энергоэффективных высокофункциональных цементных бетонов [1, 2, 3, 4, 5]. Управление физико-химическими процессами структурообразования такого рода композитов может обеспечиваться на не-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

скольких масштабных уровнях за счет использования модификаторов различной природы и механизма действия, в частности микро- и наноразмерных минеральных добавок природного и техногенного происхождения, способствующих решению проблем ресурсо- и энергосбережения, а также охраны окружающей среды, за счет снижения клинкероемкости составов [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Известно, что перспективным сырьем для получения минеральных добавок являются алюмосиликатные породы, в частности мономинеральные каолинитовые глины ( $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) [13]. Термическая активация данных глинистых пород в температурном диапазоне  $650\div800^\circ\text{C}$ , способствующая удалению около 14 масс. % химически связанный воды, приводит к разрушению их первоначальной кристаллической структуры с образованием аморфной фазы — метакаолинит (метакаолин). Метакаолин является достаточно эффективной пущолановой добавкой [14, 15, 16], тем не менее его степень применения в цементной отрасли остается низкой в силу ряда причин — территориальная и количественная ограниченность каолинитовых глин, высокая стоимость получаемого обогащенного сырья и др. В связи с этим перспективным направлением является расширение сырьевой базы алюмосиликатных пород для получения эффективных минеральных добавок для цементных систем. Одними из наиболее перспективных в данном отношении являются прокаленные полиминеральные глины [17, 18, 19, 20], эффективность которых может обеспечиваться за счет особенностей структуры, в частности наличия в их составе нескольких глинистых минералов, способных к синергетическому взаимодействию.

Помимо алюмосиликатных модификаторов повышенной эффективности в рецептуре цементных систем отличаются карбонатные минеральные добавки. Действие в цементных системах карбонатных пород (известняки, доломитизированные известняки, доломиты) основано на способности породообразующего минерала кальцита выступать в качестве центра кристаллизации новообразований [21, 22, 23]. В работах [24, 25] установлено, что эффективность карбонатных пород увеличивается в присутствии алюмосиликатных компонентов, которыми помимо трехкальциевого алюмината, содержащегося в цементе, могут быть такие алюмосодержащие минеральные добавки, как шлаки, золы-унос, термоактивированные глины и др. В связи с этим актуальным направлением является совместное использование прокаленных глинистых и карбонатных пород в рецептуре модифицированных цементных композитов.

Целью данного исследования являлось установление закономерностей влияния рецептурно-тех-

нологических параметров получения минеральных добавок (вещественный и гранулометрический состав, температура обжига) на основе прокаленных полиминеральных глин и карбонатных пород на их активность в цементных системах.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) изучена размолоспособность исходных глинистых и карбонатных пород с установлением удельной поверхности и гранулометрического состава полученных минеральных порошков;
- 2) исследованы физико-химические процессы, протекающие при термообработке полиминеральных глин и карбонатных пород;
- 3) изучено влияние состава и температуры обжига глинисто-карбонатных композиций на активность смешанного цементного вяжущего;
- 4) выявлены взаимосвязи и закономерности в системе «состав модификатора — температура обжига глин и карбонатных пород — активность смешанного вяжущего», позволяющие оптимизировать рецептурно-технологические параметры получения минеральных добавок для достижения требуемого уровня прочностных характеристик цементных композитов.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

### Материалы

В качестве основного компонента вяжущего в рецептуре цементных систем использовался портландцемент марки ПЦ 500-Д0-Н (Ц) производства ПАО «Мордовцемент». Исходным сырьем для получения минеральных добавок (МД) являлись осадочные породы ряда месторождений Республики Мордовия:

- 1) глинистые: полиминеральные глины Никитского (ГН) и Старошайговского (ГС) месторождений;
- 2) карбонатные: доломит Ельниковского (ДЕ) и мел Атемарского (МА) месторождений.

Исследование физико-химической эффективности минеральных добавок на основе прокаленных глинистых и карбонатных пород проводилось на составах мелкозернистого бетона, содержащего в качестве мелкого заполнителя стандартный монофракционный песок по ГОСТ 6139.

### Методы

Оценка размолоспособности исходного минерального сырья осуществлялась по результатам исследования влияния длительности помола на величину удельной поверхности полученных порошков глинистых и карбонатных пород.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Предварительно исходное сырье высушивалось до постоянной массы и механически измельчалось до прохода частиц через сите с ячейкой 2,5 мм. Помол подготовленных осадочных пород с массой на весок 500 г осуществлялся в шаровой барабанной мельнице при скорости вращения 73 об/мин. Размолотые породы просеивались через сите с размером ячейки 0,16 мм с фиксацией выхода конечного продукта по массе. Полученные в результате помола и рассева порошки анализировались на приборе дисперсионного анализа ПСХ-12 с определением их удельной поверхности.

Удельная поверхность на приборе ПСХ-12 определялась по методу Козени-Кармана, основанному на установлении воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка. Газопроницаемость слоя порошка измерялась по продолжительности фильтрации через прибор заданного объема воздуха при фиксированном разряжении в рабочем объеме прибора.

Исследование гранулометрического состава порошков осадочных пород осуществлялось методом лазерной дифракции с применением анализатора размеров частиц Shimadzu Sald-3101, позволяющего проводить анализ мелкодисперсных сред в диапазоне размеров частиц от 50 нм до 3 мм.

Изучение физико-химических процессов, протекающих при термообработке полиминеральных глин и карбонатных пород, проводилось с применением метода синхронного термического анализа (СТА) при объединении методов термогравиметрии и дифференциального термического анализа. Для проведения исследований использовался термогравиметрический анализатор TGA/DSC1, который помимо данных об изменении массы образца (термогравиметрия (ТГ)) в автоматическом режиме предоставляет информацию о протекающих в нем тепловых процессах – сигнал дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). При проведении термического анализа скорость подъема температуры составляла 10°С/мин. В результате исследований были получены соответствующие экспериментальные кривые – ТГ, ДТГ и ДТА.

Оптимизация температуры обжига глинисто-карбонатных композиций осуществлялась по результатам исследования влияния их добавок на активность цементного вяжущего с определением индекса активности модификатора. Индекс активности полученных минеральных добавок определялся в соответствии с методикой ГОСТ Р 56178-2014 путем сопоставления результатов испытаний по прочности на сжатие после пропарки модифицированных цементно-песчаных образцов-балочек размером 40×40×160 мм, изготовленных с использованием 90% портландцемента и 10 % минеральной добавки

(по массе вяжущего (Ц+МД), и стандартных немодифицированных образцов при соотношении в составах цементного вяжущего и стандартного монофракционного песка, равном 1/3. Водовяжущее отношение принималось одинаковым для всех составов, приравнивалось к величине, подобранный для наиболее водопотребного состава при достижении диаметра расплыва конуса Хегерманна мелкозернистой бетонной смеси 106÷108 мм. Процедура изготовления и испытания образцов-балочек приняты с учетом требований ГОСТ 310.4, режим тепловлажностной обработки выбран согласно ГОСТ Р 56178-2014 – (3+3+6+2) ч при температуре изотермической выдержки 80°С.

По результатам определения прочности на сжатие пропаренных образцов (активности цементных вяжущих) вычислялся индекс активности применяемых минеральных добавок ( $K_{\text{МД}}$ ) по формуле

$$K_{\text{МД}} = \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – прочность на сжатие образцов немодифицированного (контрольного) и модифицированного (основного) составов соответственно, МПа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Анализ размолоспособности глинистых и карбонатных пород**

В табл. 1 представлены результаты исследования влияния длительности помола на величину удельной поверхности полученных порошков глинистых и карбонатных пород.

По результатам помола глинистых и карбонатных пород в шаровой мельнице достигнуты следующие значения удельной поверхности ( $S_{\text{уд}}$ ) порошков: глина Никитская (длительность помола 0,5÷1,0 ч) – 4950÷7800; глина Старошайговская (длительность помола 0,5÷2,0 ч) – 3100÷5200; мел Атемарский (длительность помола 0,25÷3,0 ч) – 11100÷13500; доломит Ельниковский (длительность помола 0,25÷5,0 ч) – 3150÷4550 см<sup>2</sup>/г. Таким образом, наибольшей размолоспособностью среди исследуемых пород обладает мел Атемарского месторождения, для которого при часовом помоле достигнута удельная поверхность порошка 13 000 см<sup>2</sup>/г, что на 199, 67 и 271% выше аналогичного показателя доломита Ельниковского, глин Никитского и Старошайговского месторождений (4350, 7800 и 3500 см<sup>2</sup>/г соответственно).

С учетом экспериментальных данных (табл. 1) по достижению оптимального баланса в системе «время помола (энергозатраты) – дисперсность частиц – выход порошка по массе» в дальнейших ис-

Таблица 1

**Удельная поверхность порошков полиминеральных глин и карбонатных пород в зависимости от длительности помола материала**

№ п/п	Длительность помола	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г
<i>Глина Никитского месторождения</i>		
1	30 минут	4950
2	1 час	7800
<i>Глина Старошайговского месторождения</i>		
3	30 минут	3100
4	1 час	3500
5	2 часа	5200
<i>Мел Атемарского месторождения</i>		
6	15 минут	11 100
7	30 минут	12 200
8	1 час	13 000
9	3 часа	13 500
<i>Доломит Ельниковского месторождения</i>		
10	15 минут	3150
11	30 минут	3850
12	1 час	4350
13	3 часа	4450
14	5 часов	4550

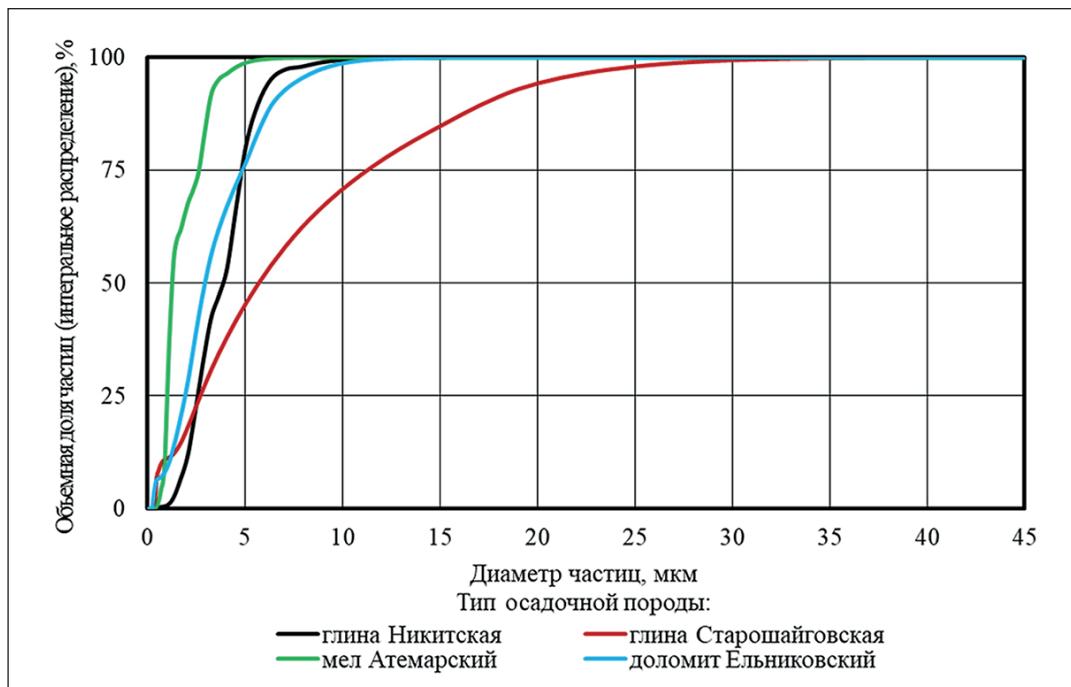


Рис. 1. Интегральные кривые объемного распределения частиц порошков исследуемых осадочных пород

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

следованиях для глин Никитского и Старошайговского месторождений, мела и доломита Атемарского и Ельниковского месторождений принята длительность помола в 1, 2, 1 и 3 часа с соответствующими ей значениями удельной поверхности полученных порошков, равными 7800, 5200, 13000 и 4450 см<sup>2</sup>/г.

Проведен анализ гранулометрического состава порошков карбонатных пород и полиминеральных глин с учетом принятой длительности помола. Интегральные кривые объемного распределения частиц по размерам для порошков осадочных пород представлены на рис. 1. Основные показатели гранулометрического состава исследуемых материалов, определенные методом лазерной дифракции, обобщены в табл. 2.

По результатам исследования (рис. 1 и табл. 2) для порошков Никитской и Старошайговской глин, Атемарского мела и Ельниковского доломита установлены следующие диапазоны размеров частиц: 0,2÷15,3;

0,3÷45,9; 0,3÷8,8 и 0,2÷17,0 мкм соответственно. При этом средний объемный диаметр частиц ( $d_{50\%}$ ) порошков увеличивается в ряду МА → ДЕ → ГН → ГС; 1,3, 2,9, 3,8 и 5,7 мкм соответственно.

**Физико-химические процессы, протекающие при термообработке полиминеральных глин и карбонатных пород**

Согласно данным, приведенным на рис. 2 и 3, можно выделить основные этапы процесса дегидратации минералов глин Никитского и Старошайговского месторождений при постепенном и непрерывном нагревании.

На кривых ДТА для исследуемых глинистых пород наблюдается ряд эндотермических эффектов. Эндоэффекты в интервале температур от 40 до 300°C (температурные максимумы при 85, 125 и 265°C (Никитская глина); 90, 140 и 265°C (Старошайговская

Таблица 2

Основные показатели гранулометрического состава порошков исследуемых осадочных пород по методу лазерной дифракции

Тип осадочной породы	Диапазон размеров частиц, мкм	Размер частиц, мкм		
		$d_{90\%}$	$d_{50\%}$	$d_{10\%}$
Глина Никитская (помол 1 ч)	0,2÷15,3	5,8	3,8	1,9
Глина Старошайговская (помол 2 ч)	0,3÷45,9	17,4	5,7	0,7
Мел Атемарский (помол 1 ч)	0,3÷8,8	3,2	1,3	0,9
Доломит Ельниковский (помол 3 ч)	0,2÷17,0	6,5	2,9	1,1

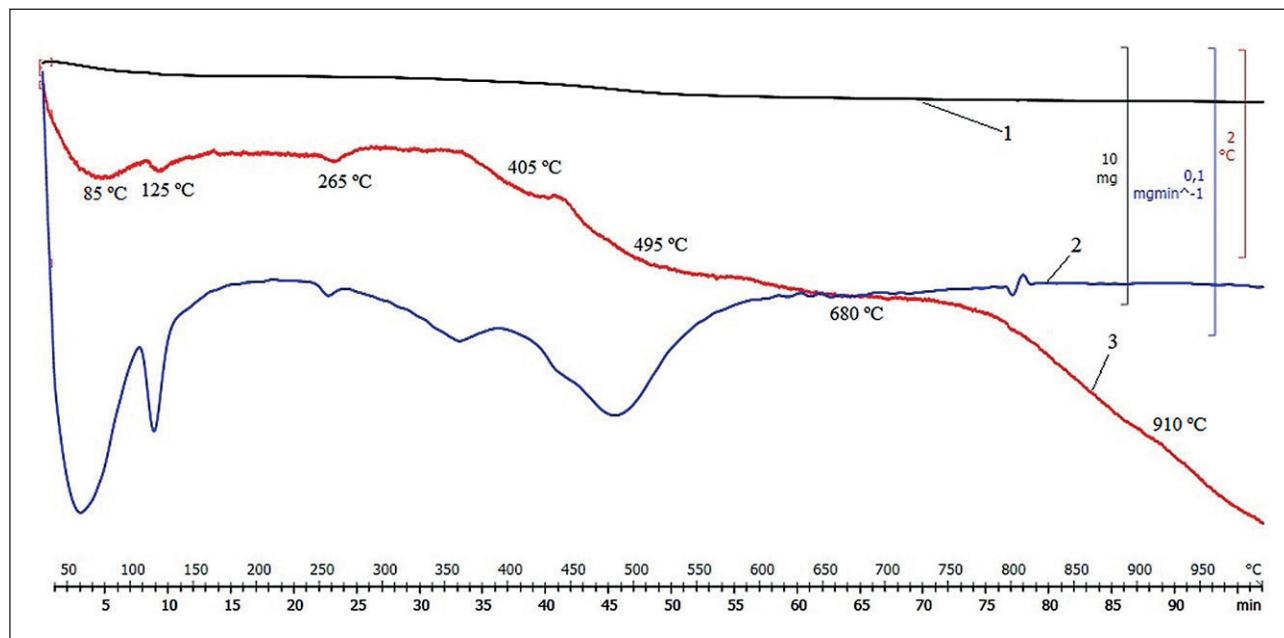


Рис. 2. Кривые ТГ (1), ДТГ (2) и ДТА (3) порошка Никитской глины

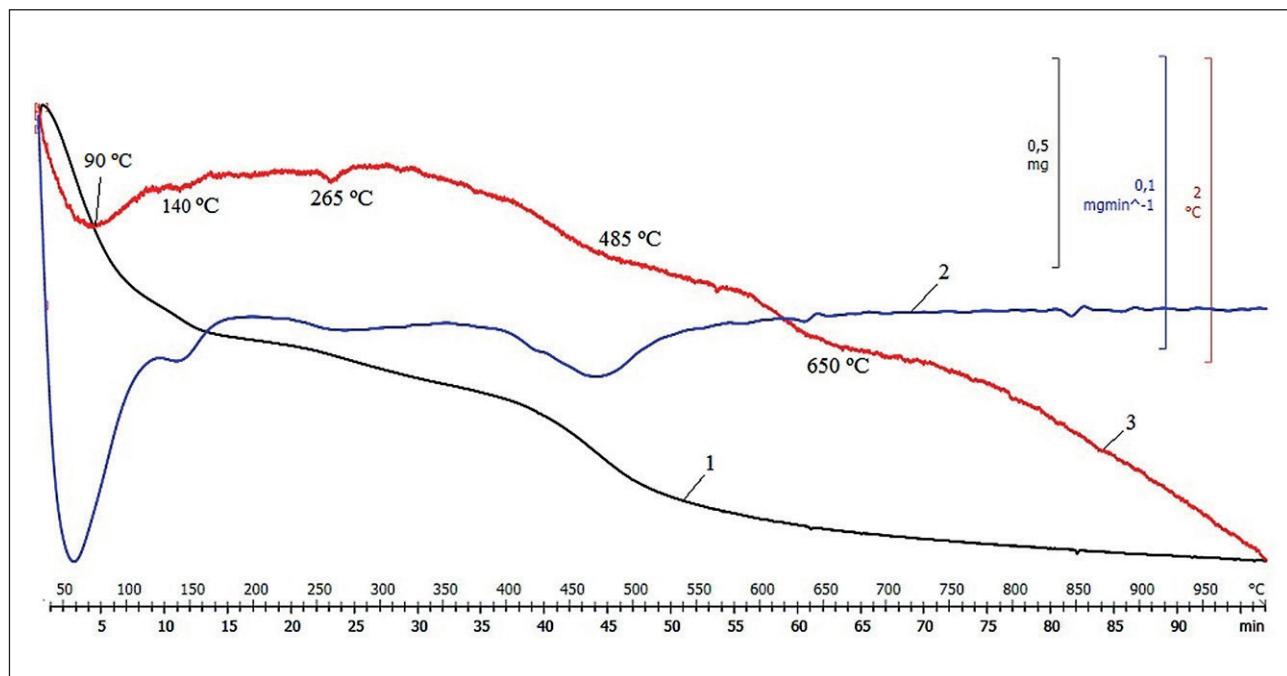


Рис. 3. Кривые ТГ (1), ДТГ (2) и ДТА (3) порошка Старошайговской глины

глина)) вызваны потерей глинистыми породами химически несвязной воды (свободной, адсорбированной, цеолитной) [18, 19]. Характерное для Никитской глины повышенное содержание свободных гидроокисей железа дает заметный добавочный эндотермический эффект в диапазоне 350–450°C с температурным пиком при 405°C (кривая ДТА), а также потерю массы в области 300–400°C (кривые ТГ и ДТГ) (рис. 2).

Следующие эндотермические эффекты в диапазоне температур 450–600 и 600–750°C связаны с последовательно протекающими процессами выделения конституционной воды из основных глинистых минералов каолинитовой и иллитовой групп. Температурные максимумы эндоэффектов дегидроксилирования каолинита и иллита для Никитской и Старошайговской глин составляют 495 и 680, 485 и 650°C соответственно (рис. 2 и 3). При этом, согласно кривым обезвоживания ТГ и ДТГ, большая потеря массы в интервале температур 400–550°C для глины Никитского месторождения свидетельствует о повышенном суммарном содержании минералов иллитовой и каолинитовой групп в ее фазовом составе по сравнению со Старошайговской.

Стоит отметить, что помимо наличия последовательных эндотермических эффектов выделения конституционной воды из минералов каолинитовой и иллитовой групп в температурной области 550–600°C возможно наложение эндоэффекта, связанного с полиморфным превращением кварца из  $\alpha$  в  $\beta$  модификацию.

В диапазоне температур 900–950°C на кривой ДТА Никитской глины (рис. 2) наблюдается размытый экзоэффект с пиком в районе 905–915°C, который может характеризовать образование из дегидратированного каолинита силлиманита или муллита.

Из литературных данных [18] известно, что с начала процесса дегидратации и до его завершения кристаллическая структура глинистых минералов претерпевает постепенные изменения вплоть до полного разрушения кристаллической решетки (аморфизацией). Изменения в состоянии и форме кристаллической решетки, разрыв отдельных связей приводят к повышению пущоланической (химической) активности минералов. При этом повышенной активностью отличаются первоначальные продукты терморазрушения глинистых минералов с метастабильной кристаллической решеткой.

Таким образом, обобщая полученные результаты термического анализа, можно сделать вывод о том, что оптимальная температура обжига глин Никитского и Старошайговского месторождений находится в области 500–800°C. Данному температурному диапазону соответствуют процессы начальной перестройки кристаллической структуры минералов каолинитовой и иллитовой групп, связанные с их дегидроксилированием, что способствует переходу указанных фаз в активную форму.

Результаты исследования физико-химических процессов, протекающих при обжиге карбонатных пород (Атемарского мела и Ельниковского доломита), приведены на рис. 4 и 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

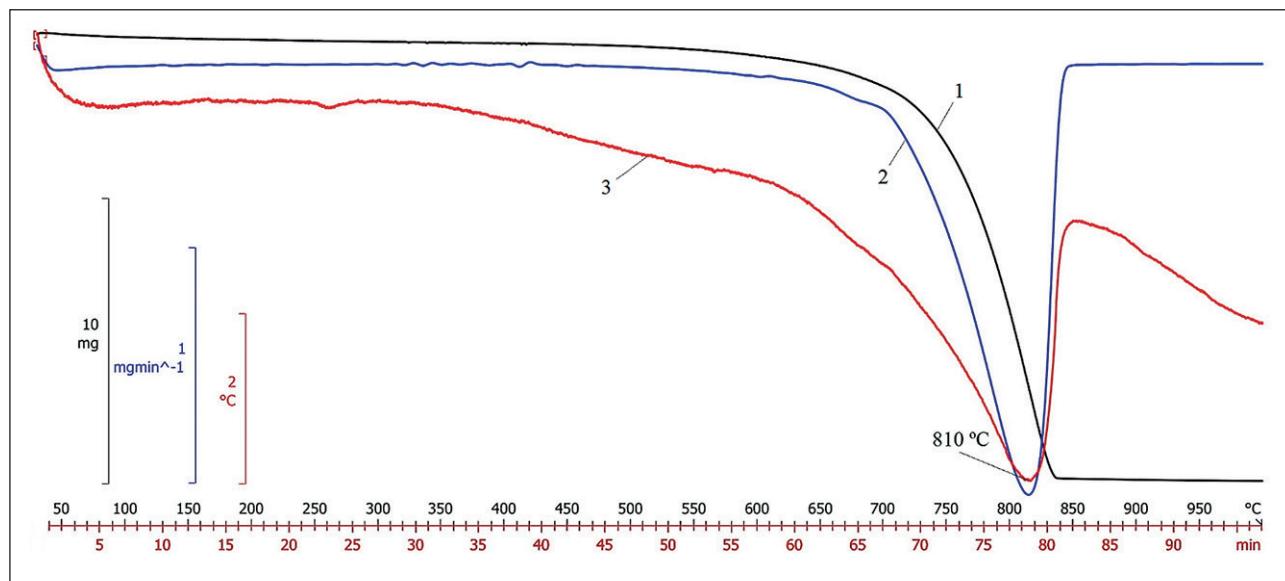


Рис. 4. Кривые ТГ (1), ДТГ (2) и ДТА (3) порошка Атемарского мела

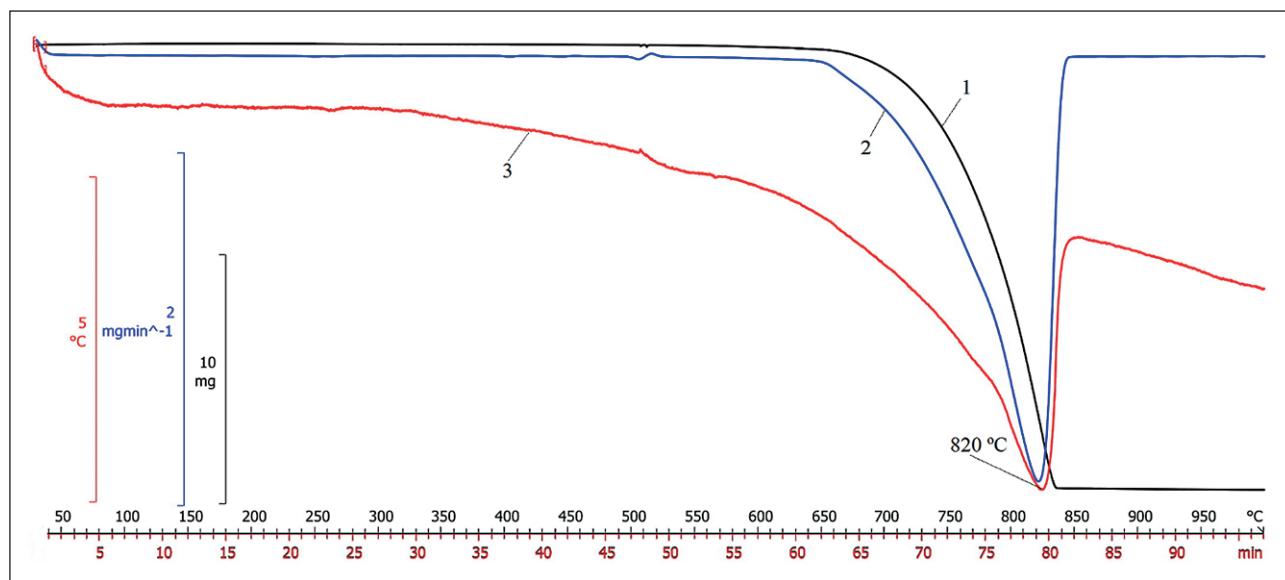


Рис. 5. Кривые ТГ (1), ДТГ (2) и ДТА (3) порошка Ельниковского доломита

Согласно рис. 4, на кривой нагревания (ДТА) мела Атемарского месторождения наблюдается глубокий эндотермический эффект с температурным максимумом при  $810^{\circ}\text{C}$ , а на кривой обезвоживания (ТГ) установлена значительная потеря массы в диапазоне температур  $700\text{--}850^{\circ}\text{C}$ , характеризующие диссоциацию кальцита  $\text{CaCO}_3$  на оксид входящего в него катиона  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ .

Близкий характер к термограммам Атемарского мела имеют соответствующие кривые ДТА, ТГ и ДТГ Ельниковского доломита (рис. 5). Так эндоэффект, соответствующий разложению кальцита, представлен температурным пиком при  $820^{\circ}\text{C}$ , а основная по-

теря массы осуществляется в диапазоне температур  $650\text{--}850^{\circ}\text{C}$ . При этом на кривой ДТА в области основного эндоэффекта установлено наличие перегиба при  $770\text{--}800^{\circ}\text{C}$ , который может характеризовать процесс разложение доломита  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  на кальцит  $\text{CaCO}_3$  и магнезит  $\text{MgCO}_3$  с последующей их диссоциацией.

#### *Оптимизация температуры обжига глинисто-карбонатных композиций по влиянию их добавок на активность цементного вяжущего*

На первом этапе проведено исследование влияния добавок термоактивированных глин Никитского и Старошайговского месторождений на актив-

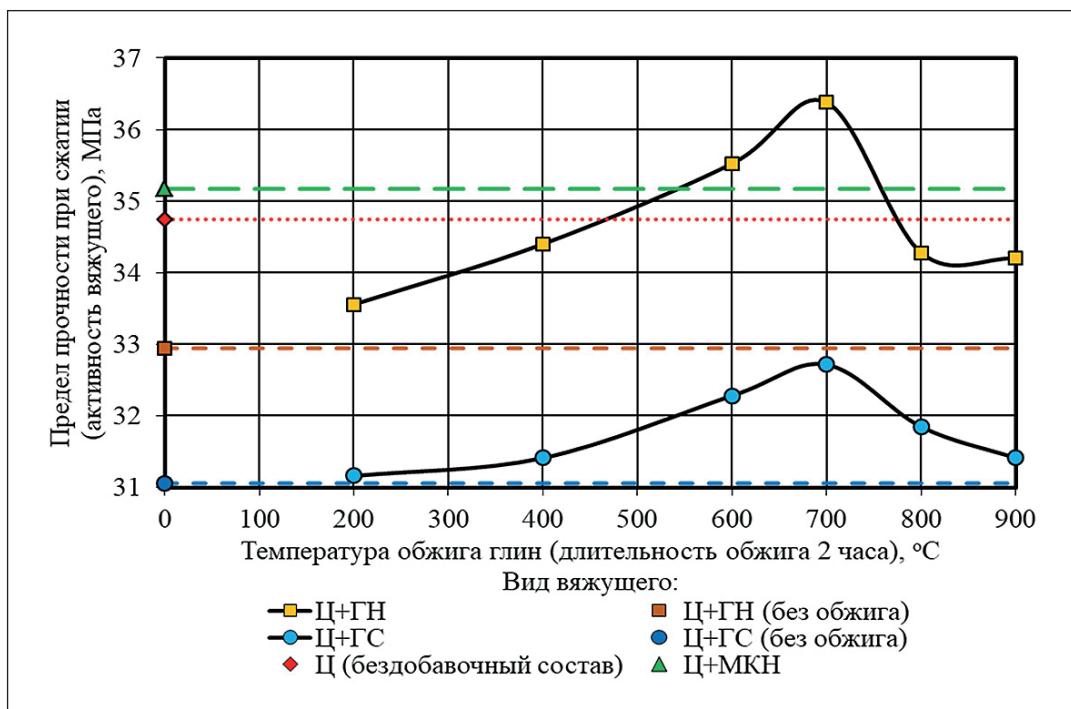


Рис. 6. Влияние температуры обжига глин на активность смешанного цементного вяжущего (длительность обжига 2 часа)

нность смешанного цементного вяжущего при варьировании температуры обжига осадочных пород на уровнях 200, 400, 600, 700, 800, 900°C. При этом длительность обжига на указанных температурных уровнях (продолжительность изотермической выдержки) была фиксированной и составляла 2 часа. Контрольным составом, помимо немодифицированного, являлась цементная система с добавкой метакаолина МКЖЛ-2 (МКН) производства ООО «Пласт-Рифей» (10% от массы вяжущего (Ц+МД) с удельной поверхностью 16 500 см<sup>2</sup>/г. Результаты исследования приведены на рис. 6.

Установлено, что обжиг Никитской и Старошайговской глин позволяет повысить прочность при сжатии мелкозернистого бетона с 32,9 и 31,1 (для составов с добавками необожженных глин) до 33,6÷36,4 и 31,2÷32,7 МПа соответственно (рис. 6). При этом активность цементного вяжущего с добавками термоактивированной Никитской глины выше, чем в составах со Старошайговской глиной при любой температуре обжига в исследуемом диапазоне, что объясняется большим содержанием реакционноспособных глинистых минералов (каолинита и иллита) в фазовом составе первой глины по сравнению со второй.

Термическая обработка Старошайговской глины не позволяет получить смешанное цементное вяжущее с активностью, превышающей аналогичный показатель для портландцемента (индекс активности

обожженной глины  $K_{\text{MD}} = 0,90 \div 0,94 < 1$ ). В то же время ряд составов с прокаленной Никитской глиной имеет прочность при сжатии, превышающую показатель немодифицированного состава. В частности, замена 10% портландцемента добавкой глины Никитского месторождения, обожженной при 600÷700°C, позволяет достичь активности смешанного вяжущего 35,5÷36,4 МПа, что выше активности портландцемента и смешанного вяжущего на основе портландцемента и метакаолина (рис. 6).

Таким образом, по результатам исследования установлен оптимальный температурный интервал обжига исследуемых полиминеральных глин, составляющий 600÷700°C, что согласуется с данными термического анализа по температурному диапазону дегидроксилирования основных реакционноспособных минералов – каолинита и иллита (рис. 2 и 3). Термоактивация глин в указанном диапазоне способствует получению минеральных добавок с наибольшими значениями индекса активности. В частности, добавки на основе прокаленной при 600÷700°C Никитской глины являются активными минеральными с индексом активности  $K_{\text{MD}} = 1,02 \div 1,05 > 1$ , что превышает аналогичный показатель метакаолина МКЖЛ-2 ( $K_{\text{MD}} = 1,01$ ).

На втором этапе проведено исследование влияния добавок прокаленных смесей Никитской глины (как наиболее эффективной в цементных системах по результатам предыдущих исследований) и кар-

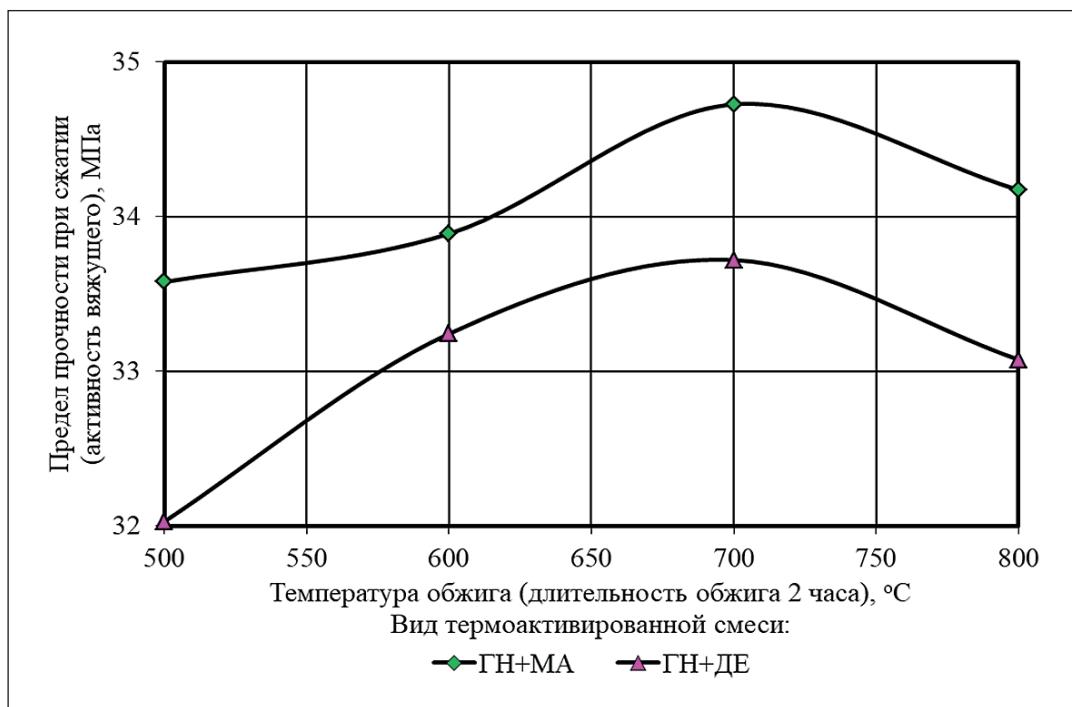


Рис. 7. Влияние температуры обжига смесей Никитской глины и карбонатных пород на активность цементного вяжущего (длительность обжига 2 часа)

бонатных пород (Атемарского мела и Ельниковского доломита) на активность цементного вяжущего при соотношении компонентов 1/1 и варьировании температуры обжига осадочных пород на уровнях 500, 600, 700 и 800°C. При этом длительность обжига на указанных температурных уровнях (продолжительность изотермической выдержки) была фиксированной и составляла 2 часа. Результаты исследования приведены на рис. 7.

Установлено, что прочностные показатели цементных композитов с добавками термоактивированных смесей Никитской глины и Атемарского мела на 2,1÷5,0% выше, чем у составов с применением прокаленной композиции указанной глины и Ельниковского доломита при одной и той же температуре обжига смесей.

В составах с добавками прокаленных смесей глины и мела, а также глины и доломита наибольший индекс активности минерального модификатора достигнут при температуре термоактивации композиций 700°C – 1,00 и 0,97 отн. ед. соответственно. При этом при данной температуре обжига максимальная активность смешанного вяжущего, зафиксированная в составе с добавкой прокаленной смеси «Никитская глина + Атемарский мел» (34,7 МПа), равна аналогичному показателю портландцемента в бездобавочном составе (34,7 МПа, рис. 6) и на 4,7% ниже, чем у вяжущего с индивидуальной добавкой Никитской глины (36,4 МПа, рис. 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

- 1) проведена оценка размолоспособности исходных глинистых и карбонатных пород по показателям удельной поверхности и гранулометрического состава полученных минеральных порошков;
- 2) раскрыты физико-химические процессы, протекающие при термообработке полиминеральных глин и карбонатных пород с использованием метода синхронного термического анализа;
- 3) установлено влияние состава и температуры обжига глинисто-карбонатных композиций на активность смешанного цементного вяжущего (ГОСТ 310.4) с определением индекса активности минерального модификатора;
- 4) выявлены взаимосвязи и закономерности в системе «состав модификатора – температура обжига глин и карбонатных пород – активность смешанного вяжущего», позволяющие оптимизировать рецептурно-технологические параметры получения минеральных добавок для достижения требуемого уровня прочностных характеристик цементных композитов.

По результатам исследования процессов дегидратации глинистых минералов с использованием метода синхронного термического анализа установлено, что оптимальная температура обжига глин Ни-

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

китского и Старошайговского месторождений находится в области 500–800°C. Данному температурному диапазону соответствуют процессы начальной перестройки кристаллической структуры минералов каолинитовой и иллитовой групп, связанные с их дегидроксилированием, что способствует переходу указанных фаз в активную форму.

Результаты исследования влияния добавок обожженных глинисто-карбонатных композиций на активность цементного вяжущего подтвердили

данные термического анализа. Установлено, что получению наиболее эффективных минеральных модификаторов способствует прокаливание глин и глинисто-карбонатных смесей при температуре 700°C. При данной температуре обжига замена 10% портландцемента добавкой термоактивированной Никитской глины позволяет достичь активности вяжущего, превышающей аналогичный показатель смешанного вяжущего на основе портландцемента и высококачественного метакаолина.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhou M., Lu W., Song J., Lee G.C. Application of Ultra-High Performance Concrete in bridge engineering. *Construction and Building Materials*. 2018; 186: 1256–1267. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.036>
2. Shin H.O., Yoo D.Y., Lee J.H., Lee S.H., Yoon Y.S. Optimized mix design for 180 MPa ultra-high-strength concrete. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019; 8: 4182–4197. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.027>
3. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 96–103.
4. Каприлов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Чилин И.А. О подборе составов высококачественных бетонов с органоминеральными модификаторами // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 58–63.
5. Балыков А.С., Низина Т.А., Кяшкин В.М., Володин С.В. Рецептурно-технологическая эффективность осадочных пород различного состава и генезиса в цементных системах // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 53–61. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>
6. Ghafari E., Costa H., Júlio E., Portugal A., Durães L. The effect of nanosilica addition on flowability, strength and transport properties of ultra high performance concrete. *Materials and Design*. 2014; 59: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.051>
7. Strokova V.V., Markova I.Yu., Markov A.Yu., Stepanenko M.A., Nerovnaya S.V., Bondarenko D.O., Botsman L.N. Properties of a composite cement binder using fuel ashes. *Key Engineering Materials*. 2022; 909: 184–190. <https://doi.org/10.4028/p-tm4y4j>
8. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S., Korovkin D.I. Multicriteria optimization of the formulation of modified fine-grained fibre concretes containing carbon nanostructures. *International Journal of Nanotechnology*. 2018; 15: 333–346. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094790>
9. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 3. С. 130–139. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139>
10. Тараканов О.В., Белякова Е.А. Влияние комплексных минеральных добавок на прочность и состав гидратации цементных материалов // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 4(45). С. 46–52.
11. Фаликман В.Р., Соболев К.Г. «Простор за пределом», или как нанотехнологии могут изменить мир бетона. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. 2010. Том 2, № 6. С. 17–31.
12. Низина Т.А., Балыков А.С. Построение экспериментально-статистических моделей «состав – свойство» физико-механических характеристик модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 45 (64). С. 54–66.
13. Tironi A., Castellano C.C., Bonavetti V.L., Trezza M.A., Scian A.N., Irassar E.F. Kaolinitic calcined clays – Portland cement system: Hydration and properties. *Construction and Building Materials*. 2014; 64: 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.065>
14. Kocak Y. Effects of metakaolin on the hydration development of Portland–composite cement. *Journal of Building Engineering*. 2020; 31: 101419. <https://doi.org/10.1016/j.jobr.2020.101419>
15. Chand G., Happy S.K., Ram S. Assessment of the properties of sustainable concrete produced from quaternary blend of portland cement, glass powder, metakaolin and silica fume. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021; 4: 100179. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100179>

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

16. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цементных бетонов // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 54–56.
17. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillaume D., Montel J.M. Clay content of argillites: Influence on cement based mortars. *Applied Clay Science*. 2009; 43: 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.09.009>
18. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2011; 41: 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013>
19. Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Влияние добавок глинитов в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 7(59). С. 66–73. <https://doi.org/10.5862/MCE.59.7>
20. Володин В.В., Низина Т.А., Балыков А.С., Коровкин Д.И., Козлятников И.С., Башкаев Д.С., Григорьев А.А. Опыт применения обожженной глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2018. С. 36–42.
21. Lin R.-S., Wang X.-Y., Yi-Han. Effects of cement types and addition of quartz and limestone on the normal and carbonation curing of cement paste. *Construction and Building Materials*. 2021; 305: 124799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124799>
22. Lollini F., Redaelli E., Bertolini L. Effects of portland cement replacement with limestone on the properties of hardened concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2014; 46: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.10.016>
23. Celik K., Hay R., Hargis C.W., Moon J. Effect of volcanic ash pozzolan or limestone replacement on hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2019; 197: 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.193>
24. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*. 2012; 42: 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006>
25. Tang J., Wei S., Li W., Ma S., Ji P., Shen X. Synergistic effect of metakaolin and limestone on the hydration properties of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2019; 223: 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.059>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Балыков Артемий Сергеевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия, artbalrun@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9087-1608>

**Низина Татьяна Анатольевна** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия, nizinata@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2328-6238>

**Володин Сергей Валерьевич** – студент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия, svolodin12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2018-4487>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.02.2022; одобрена после рецензирования 30.03.2022; принятая к публикации 04.04.2022.

## Additives to reduce the flammability of polymers

Ilnaz I. Zaripov<sup>1\*</sup> , Irina N. Vikhareva<sup>1</sup> , Evgeniya A. Buylova<sup>1</sup> , Tatyana V. Berestova<sup>2</sup> , Aliya K. Mazitova<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

<sup>2</sup> Bashkir State University, Ufa, Russia

\* Corresponding author: e-mail: ilnaz.zaripov1996@mail.ru

**ABSTRACT: Introduction.** This review article provides data on additives used to reduce the flammability of polymer compositions. It is shown that not individual substances are used for this purpose, but their mixtures, including flame retardants, synergists, and stabilizers. The principle of operation of flame retardants is that when the appropriate degree of concentration of flame retardants in the material is reached, they do not allow it to burn without the presence of an ignition source. Under the influence of fire on the processed material, various chemical and physical processes occur in it, preventing the flame from flaring up. **Main part.** The advantages and disadvantages of the main flame retardants currently used, which include antimony compounds, halogen-containing compounds, phosphorus-containing substances, as well as aluminum and magnesium hydroxides, are analyzed. Various mechanisms for slowing down combustion processes when flame retardants are used are considered. It has been shown that bromine-containing flame retardants are much more effective than chlorine-containing ones. They decompose in a narrow temperature range. In addition, plastics containing bromine compounds as flame retardants are easily recycled due to the high thermal stability of such flame retardants. Phosphorus-containing compounds have a plasticizing ability and increase the fire resistance of plastic compounds. The action in the condensed phase is that during the decomposition of the flame retardant, phosphoric acid residues are formed, which act as dehydrating agents, contributing to the formation of carbonized structures. In this case, an aerosol can also be formed, which contributes to the deactivation of radicals due to the wall effect. Of particular interest are compounds containing halogen and phosphorus. The advantages of these compounds are as follows: by splitting off halogen radicals during decomposition, they deactivate active radicals; contribute to the formation of carbonized structures. Metal hydroxides decompose under the influence of high temperatures with the release of water. The decomposition reaction is endothermic, resulting in cooling of the substrate to temperatures below the flash point. The formation of water contributes to the dilution of combustible gases released during decomposition, weakens the effect of oxygen and reduces the rate of combustion. The effectiveness of hydroxides is directly proportional to their content in the polymer. The greatest efficiency is observed when aluminum hydroxide is introduced into oxygen-containing polymers (polyethylene terephthalate, polybutylene terephthalate, polyamide). Magnesium hydroxide is more expensive than aluminum hydroxide, but has a higher heat resistance (up to 300°C). **Conclusion.** Thus, among the listed flame retardants, aluminum and magnesium hydroxides occupy the first place in terms of the volume of use (more than 40% of the total volume of flame retardants). This is due to their low cost, manufacturability of their application and environmental safety. A well-chosen metal hydroxide system produces a low-cost non-combustible material with little fumes from decomposition. Therefore, the use of metal hydroxides as flame retardants is constantly increasing.

**KEY WORDS:** flame retardants, flammability, fire resistance, polymer compositions.

**FOR CITATION:** Zaripov I.I., Vikhareva I.N., Buylova E.A., Berestova T.V., Mazitova A.K. Additives to reduce the flammability of polymers. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(2): 156–161. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161>.

### INTRODUCTION

Flame retardants are substances that protect materials of organic origin from ignition and self-combustion [1, 2]. Currently, not individual substances are used, but their mixtures. The composition of the flame retardant includes [3, 4]:

- flame retardants (ammonium phosphates, ammonium sulfate, boric acid, silicates, ammonium chloride);

- synergists - substances that enhance the action of the main moderator;

The principle of operation of flame retardants is that when the appropriate degree of concentration of flame retardants in the material is reached, they do not allow it to burn without the presence of an ignition source. Under the influence of fire on the processed material, various

chemical and physical processes occur in it, preventing the flame from flaring up [5–8].

All means that increase fire-retardant properties are divided into coatings that protect against fire and compounds that penetrate into the material being processed: the first category includes varnishes, pastes, paints and various coatings; to the second – fire-retardant impregnations.

Combustion is a very complex physicochemical process, including both chemical reactions of destruction, crosslinking, and carbonization, as well as chemical reactions of transformation and oxidation of combustion gas products, and physical heat transfer processes [9]. The reactions actually lead to two main types of products: gaseous substances (combustible and non-combustible) and solid products (carbonaceous and mineral). When the reaction proceeds in the pre-flame region, fuel for the flame, soot, etc. are formed.

As a result of thermal degradation of polymers, volatile decomposition products containing C–C and C–H groups are released, which form free radicals that react with oxygen. It is believed that the ability to ignite and the speed of propagation of the flame depend on the rate of formation of HO<sup>·</sup> radicals. The reactions leading to the formation of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O are highly exothermic, i.e. pass with the release of a large amount of heat. This heat creates conditions for self-acceleration of oxidation reactions and subsequent combustion.

## MAIN PART

### Mechanisms of action of flame retardants

There are several mechanisms for slowing down combustion processes using flame retardants [10]:

– Inhibition of free radical processes that occur during the decomposition of the polymer, due to the formation of substances that can interact with free radicals to form radicals with less reactivity. The introduction of substances containing halogens (chlorine, bromine, fluorine, iodine), nitrogen, phosphorus and boron contributes to the slowing down of combustion. At high temperatures, flame retardants decompose to form halogen radicals, which react predominantly with very active HO<sup>·</sup> radicals.

– Formation of a protective layer on the surface of the polymer, impermeable to oxygen or insulating from further heating. The mechanism of action of a number of fire retardants (silicates and aluminosilicates, metal borates, phosphates, their organic derivatives) is due to the predominant influence on the combustion process of the protective layers formed on the surface. These layers consist of non-volatile residues (mainly metal oxides) formed during the decomposition of inorganic compounds. Flame retardants, which are capable of creating dense surface protective layers, create a kind of physical

barrier to the action of the flame on the polymer, making it difficult for the diffusion of combustible gases into the flame. Such flame retardants include barium metaborate, zinc borate, and ammonium tetrafluoroborate [11]. Flame retardants containing phosphorus compounds reduce the oxygen permeability of the material. An example of such a flame retardant would be diammonium phosphate. One of the effective inhibitors of the processes of combustion and smoldering of various polymers are organic phosphorus compounds, the action of which is explained in the following way [12]. During the pyrolysis of polymers containing phosphorus compounds, phosphoric acid and its anhydrides are formed, which catalyze dehydration and dehydrogenation.

– Emission of non-combustible gases that prevent the supply of oxygen to the combustion zone. When halogen compounds are used as flame retardants, the combustion of polymers can be slowed down by the following mechanism. Ammonium chloride or bromide at temperatures above 200 and 250°C, respectively, decompose into ammonia, hydrogen chloride and hydrogen bromide. Gaseous (hydrogen chloride and hydrogen bromide) suppress combustion. In addition, the percentage of oxygen in the gas phase decreases, which also slows down combustion.

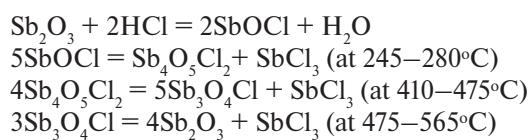
– Decomposition of flame retardants or interaction of flame retardants and their degradation products with other substances with heat absorption, which helps to reduce the temperature of the material below the flash point. A large group of substances used as fire retardants are substances that decompose endothermally to form non-combustible products. These include hydroxides of aluminum, magnesium, zinc, hydrated metal carbonates, urea and other substances. The mechanism of action of such flame retardants is associated with a purely physical effect on the heat balance of the combustion process.

– Prevention of flame propagation during the combustion process, due to additional costs of thermal energy for heating the powdered filler. The introduction of non-combustible fillers into materials can reduce the content of the combustible component. For this purpose, in addition to dispersed fillers (chalk, sand), fibrous (glass fibers, asbestos) can also be used. Potassium or sodium silicates are of great importance as a fire-preventive agent, since the materials coated with them ignite with great difficulty. For this purpose, the material is covered several times with a solution of silicate, to which a little chalk, bone ash, mineral paint, or some other crushed, non-fusible mineral substances are added. Processed materials do not burn with a flame, but only char and smolder.

### Synergistic mixtures of flame retardants

It should be noted that in fact the mechanism of action of flame retardants is not limited to any one effect, but is a more complex process. The simultane-

ous presence in the mixture of two or more substances that prevent the formation of a flame contributes to the achievement of a significantly greater effect compared to the effects observed when using the same substances separately. The joint action of two substances is called synergism. The most effective flame retardant at present is antimony oxide in combination with halogen-containing organic compounds (optimum molar ratio Sb/Cl = 1/3). This mixture has a synergistic effect [13]. The proposed mechanism of action of this mixture is as follows. The hydrogen chloride released during the combustion of the polymer from the halogenoorganic compound interacts with antimony oxide to form antimony oxychloride, which, in turn, can decompose with the release of antimony trichloride:



The antimony oxide formed at the final stage, being a powdered filler, contributes to the retardation of combustion, creating additional obstacles to the spread of flame. Gaseous antimony trichloride, in turn, limits the supply of oxygen to the combustion zone. The widespread use of antimony oxide is also facilitated by the fact that it is not a carcinogenic compound.

### Halogen-containing flame retardants

Halogen-containing flame retardants have proven themselves well [14–18]. For compounds of the same type, the effectiveness of halogen-containing flame retardants decreases in the series J > Br > Cl > F. Compounds with a reduced carbon-halogen bond energy have the highest efficiency. The effectiveness of halogen-containing compounds is determined by how easily C–G bonds can dissociate. That is, the effectiveness of the fire retardant depends not only on the halogen content, but also on the radical to which it is attached. These are halogen-containing aliphatic compounds. Most often, chlorinated paraffin ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2-x}\text{Cl}_x$ , where  $n = 10\text{--}30$ ;  $x = 1\text{--}7$ ) containing up to 70% of combined chlorine is used. Less often, aromatic chlorine or bromine containing compounds are used, for example, decabromodiphenyl oxide, ( $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{Br}_{10}\text{O}$ ), tetrachlorophthalic anhydride ( $\text{C}_8\text{C}_{14}\text{O}_3$ ). Aromatic compounds are more stable and therefore reduce flammability to a lesser extent. Fluorine and iodine compounds are not used as flame retardants, since fluorine compounds are ineffective, and iodine compounds have low thermal stability during processing. The use of chlorine has recently been greatly reduced due to pressure from public organizations concerned about the toxicity of these compounds. And when burning bromine-containing fire retardants,

toxic compounds (dioxins and furans) are not released. The range and volume of use of bromine-containing flame retardants is greater than that of chlorine-containing ones. Bromine-containing flame retardants are much more effective than chlorine-containing flame retardants, since their combustion products are less volatile. In addition, chlorine-containing fire retardants emit chlorine over a wide temperature range, so its content in the gas phase is low, and bromine-containing fire retardants decompose in a narrow temperature range, thus ensuring the optimal concentration of bromine in the gas phase. You should also pay attention to such an important factor as the recycling of materials containing fire retardants. According to recent data, plastics containing bromine compounds as flame retardants are easily recycled due to the high thermal stability of such flame retardants.

Polybromodiphenyl oxide and its derivatives. Suitable for most plastics except EPS. Currently, the use of such compounds is declining due to pressure from environmental organizations.

Dibromneopentyl glycol and its derivatives. It is applied to polyester pitches in the course of synthesis. Contains 60% bromine. They have high thermal stability and chemical resistance. High performance fire retardant. High light fastness. Can also be used in rigid polyurethane foams.

Dibromostyrene and its derivatives. Including graft copolymers with polypropylene. Recommended for acrylonitrile butadiene styrene plastics, polystyrene, engineering thermoplastics, unsaturated polyesters and polyurethanes. Not recommended for use in PVC, EPS and rigid polyurethane foams.

Hexabromocyclododecane is used in high impact polystyrene and polyolefins, including foamed ones.

Pentabromobenzyl acrylate is designed for engineering thermoplastics. Used in reactive extrusion to copolymerize with polyamides, thermoplastic polyesters, and polycarbonate to achieve UL-94 V-0 (self-extinguishing in less than 10 seconds after flame removal; burning droplets are not allowed) without compromising the physical and mechanical properties of the polymer.

Can also be used for filled polypropylene. Due to its high molecular weight, it does not migrate, it has high thermal stability and chemical resistance. Improves the compatibility of the filler (fiberglass) with polypropylene.

Brominated epoxy oligomers (BEO) are used for engineering thermoplastics (polyethylene terephthalate, polybutylene terephthalate, polyamide 6, 66, etc.), thermoplastic polyurethanes and polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene blends. Due to its high molecular weight, it does not migrate, it has high thermal stability and chemical resistance.

Tetrabromophthalic anhydride and its derivatives. It is used in thermoplastics and polyurethanes. Can be used in PVC and thermoplastic elastomers.

Tribromineopentanol contains 70% aliphatically attached bromine, is introduced at the stage of synthesis, chemically interacts with the polymer. It has very high thermal and light resistance. Not subject to hydrolytic degradation. It is highly soluble in polyols, making it particularly suitable for the manufacture of non-flammable polyurethanes.

Tribromophenol and its derivatives. Used for polystyrene and its copolymers (high impact polystyrene, acrylonitrile butadiene styrene), polycarbonate, polyamide, polyurethane foam and thermoplastics. Not suitable for polyolefins and PVC.

Brominated trimethylphenyl indane (developed by Dead Sea Bromine Group). Contains 73% aromatic bromine, providing excellent thermal stability, which is especially important in the processing of engineering plastics. Allows you to increase the impact strength and fluidity of the thermoplastic melt.

### Phosphorus-containing flame retardants

Phosphorus-containing fire retardants are organic and inorganic compounds [19, 20]. They are active in the gas or condensed phase, and sometimes in the ejection. It is believed that phosphorus compounds occur in the gas phase through the formation of  $\text{PO}^\cdot$  radicals, which absorb active  $\text{H}^\cdot$  and  $\text{OH}^\cdot$  radicals, the spread of which is propagated by flames.

The action in the condensed phase occurs in the fact that during the decomposition of the flame retardant, phosphoric acid residues accumulate, which act as dehydrating agents, contributing to the repetition of carbonized structures. In this case, an aerosol can also be formed, which contributes to the deactivation of radicals due to the tissue effect.

The nomenclature of phosphorus-containing compounds is quite wide, they can be divided into 2 groups – halogen-containing and halogen-free.

The advantage of compounds, halogen-containing and phosphorus:

- splitting off halogen radicals during decomposition, they deactivate the active radicals  $\text{H}^\cdot$  and  $\text{OH}^\cdot$  according to the usual mechanism for halogens;
- contribute to the formation of carbonized structures according to the mechanism described above.

The second group includes red phosphorus, water-soluble inorganic phosphates, insoluble ammonium phosphate and polyphosphates, organophosphates and phosphonates, as well as phosphine oxides.

Red phosphorus is an excellent flame retardant for heterochain polymers (polyethylene terephthalate, polycarbonate, etc.). Specially processed red phosphorus is used for fire protection of electrical products made of polyamides. Used in combination with foaming and carbonizing agents in intumescent fire retardants.

The use of phosphorus is limited by its toxicity and red color.

Triaryl phosphates. Triphenyl phosphate (TPP) is used in polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene and polyphenylene oxide blends. Tricresyl phosphate (TCP) is mainly used in PVC as a flame retardant plasticizer and in styrene-containing polymers.

Diaryl phosphates (RDP and BDP) are colorless liquids used primarily in polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene, polybutylene terephthalate, polyphenylene oxide blends. These are low-volatile, heat-resistant products, with a lower plasticizing effect compared to triaryl phosphates. Typically 10–15% of these compounds are sufficient to achieve the appropriate UL-94 fire rating. They have high resistance to hydrolytic degradation.

Alkylphosphonates. The high efficiency of compounds of this class is due to the high content of phosphorus. However, the high volatility of these flame retardants limits their use in rigid polyurethane foams and highly filled polyesters.

Oligomeric cyclic phosphonates. The high viscosity of such compounds complicates their use in pure form. The most commonly used superconcentrates. They are mainly used for the manufacture of non-combustible fibers from polyethylene terephthalate, with a content of 6% of the active component in polyethylene terephthalate, they satisfy all the requirements for such products. Due to their low volatility they can be used in rigid polyurethane foams.

### Metal hydroxides

Aluminum hydroxide (ATH) is used in elastomers, thermoplastics and thermoplastics. It decomposes at temperatures of 190–230°C, depending on the particle size of 0.25–3  $\mu\text{m}$ . The main areas of application are styrene-butadiene latex, for carpeting, the manufacture of non-combustible elastomeric cable insulation, conveyor belts, roofing materials and hoses. The greatest efficiency is observed when aluminum hydroxide is introduced into oxygen-containing polymers (polyethylene terephthalate, polybutylene terephthalate, polyamide).

Magnesium hydroxide (MH) is a white powder with a particle size of 0.5 to 5  $\mu\text{m}$ . To achieve a fire-retardant effect, it is introduced in an amount of 50–70% by weight of the polymer. Magnesium hydroxide is more expensive than aluminum hydroxide, but has a higher heat resistance (up to 300°C). Mainly used in polypropylene, acrylonitrile butadiene styrene plastics and polyphenylene oxide, it is not recommended for use in thermoplastic polyesters (polyethylene terephthalate, polybutylene terephthalate), as it accelerates the degradation of such polymers.

Metal hydroxides decompose under the influence of high temperatures with the release of water. The decom-

position reaction is endothermic, resulting in cooling of the substrate to temperatures below the flash point. The formation of water contributes to the dilution of combustible gases released during decomposition, weakens the effect of oxygen and reduces the rate of combustion. The efficiency of hydroxides is directly proportional to their content in the polymer [21].

In some tests used to evaluate electrical products and cable insulation, the main parameters are material self-extinguishing and fire resistance. Metal hydroxides are suitable for use in these areas. Moreover, after decomposition, a heat-insulating layer is formed, which also prevents the emission of smoke.

Zinc borate can be used for fire protection of PVC, polyolefins, polyamides, elastomers and epoxy resins.

In halogen-containing systems, it is used in conjunction with antimony oxide, and in halogen-free systems, with metal hydroxides or red phosphorus.

## CONCLUSION

Thus, among the listed flame retardants, aluminum and magnesium hydroxides occupy the first place in terms of the volume of use (more than 40% of the total volume of flame retardants). This is due to their low cost, manufacturability of their application and environmental safety. A well-chosen metal hydroxide system produces a low-cost non-combustible material with little fumes from decomposition. Therefore, the use of metal hydroxides as flame retardants is constantly increasing.

## REFERENCES

1. Maslova I.P. *Chemical additives to polymers. Directory*. Moscow: Chemistry; 1981.
2. Aseeva R.M., Zaikov G.E. *Reducing the combustibility of polymeric materials*. Moscow: Knowledge; 1981.
3. Weil E., Levchik S. *Flame retardants for plastics and textiles. Practical use*. Munich: Hanser Publishing House; 2009.
4. Glikshtern M. V. Fire Retardants. *Polymer Materials*. 2003; 3: 22–23; 4: 15–18.
5. Kopylov V.V. *Polymeric materials with reduced flammability*. Moscow: Chemistry; 1986.
6. Gul V.E., Kuleznev V.N. *Structure and mechanical properties of polymers*. Moscow: Ed. Labyrinth; 1994.
7. Aseeva R.M., Zaikov G.E. *Combustion of polymeric materials*. Moscow: Nauka; 1981.
8. Baratov A.N., Andrianov R.A., Korolchenko A.Ya., Mikhailov D.S., Ushkov V.A., Filin L.G. *Fire hazard of building materials*. Moscow: Stroyizdat; 1988. 380 p.
9. Kodolov V.I. *Combustibility and fire resistance of polymeric materials*. Moscow: Chemistry; 1976.
10. Khalturinsky N.A., Berlin A.A., Popova T.V. Combustion of polymers and mechanisms of action of fire retardants. *Uspekhi khimii*. 1984; 53(2): 21.
11. Kodolov V.I. *Flame retardants of polymeric materials*. Moscow: Chemistry; 1980.
12. Plotnikova G.V., Egorov A.N. Available organophosphorus compounds as flame retardants. *Fire and explosion safety*. 2003; 6: 26–29.
13. Fedeev S.S., Bogdanova V.V., Safropenko E.D. *Inhibition of combustion of polymers. Study of the mechanism of action of synergistic mixtures of antimony oxide - halogen-containing compounds*. Moscow; 1988.
14. Levchik S.V. Introduction to Flame Retardancy and Polymer Flammability. *Flame Retardant Polymer Nanocomposites*. 2006; 1–29.
15. Raffan-Montoya F., Stolarov S.I. Measurement of heat release in laminar diffusion flames fueled by controlled pyrolysis of milligram-sized solid samples: Impact of bromine- and phosphorus-based flame retardants. *Combustion and Flame*. 2015; 162(12): 4660–4670.
16. Shklein A.A. et al. Two-step gas-phase reaction model for the combustion of polymeric fuel. *Fuel*. 2019; 255(115878).
17. Snegirev A.Y. et al. Autocatalysis in thermal decomposition of polymers. *Polymer degradation and stability*. 2017; 137: 151–161.
18. Berlin A.A. Combustion of polymers and low flammability polymeric materials. *Soros Educational Journal*. 1996; 9: 57–63.
19. Kausar A. et. al. Recent Developments in Different Types of Flame Retardants and Effect on Fire Retardancy of Epoxy Composite. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*. 2016; 55(14): 1512–1535.
20. Kuleznev P.V., Balakin V.M. Investigation of the effect of phosphorus-containing fire retardants on the combustibility and dielectric properties of epoxy compounds. *Plastic masses*. 2012; 9: 8–9.
21. Chaly V. P. *Metal Hydroxides: Patterns of Formation, Composition, Structure, and Properties*. Kyiv: Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Sciences. Dumka; 1972. 158 p.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ilnaz I. Zaripov** – Assistant, Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, [ilnaz.zaripov1996@mail.ru](mailto:ilnaz.zaripov1996@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2051-831X>

**Irina N. Vikhareva** – Assistant, Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, [irina.vikhareva2009@yandex.ru](mailto:irina.vikhareva2009@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5681-2767>

**Evgeniya A. Buyllova** – Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor of Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, [evg-buyllova@yandex.ru](mailto:evg-buyllova@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8799-6434>

**Tatyana V. Berestova** – Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor of the Department of Physical Chemistry and Chemical Ecology, Bashkir State University, Ufa, Russia, [berestovatv@gmail.com](mailto:berestovatv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0738-8779>

**Aliya K. Mazitova** – Dr. Sci. (Chem.), Prof., Head of Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, [elenaaaf@yandex.ru](mailto:elenaaaf@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2304-1692>

#### CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Ilnaz I. Zaripov** – methodology development; writing the draft; follow-on revision of the text.

**Irina N. Vikhareva** – research concept.

**Evgeniya A. Buyllova** – collection of materials.

**Tatyana V. Berestova** – participation in the development of the material.

**Aliya K. Mazitova** – scientific management; final conclusions.

**The authors declare no conflicts of interests.**

The article was submitted 22.02.2022; approved after reviewing 29.03.2022; accepted for publication 05.04.2022.

Обзорная статья

УДК 66.022.387

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161>

CC BY 4.0

## Добавки для понижения горючести полимеров

Ильназ Ильгизович Зарипов<sup>1\*</sup> , Ирина Николаевна Вихарева<sup>1</sup> , Евгения Андреевна Буйлова<sup>1</sup> ,  
Татьяна Вячеславовна Берестова<sup>2</sup> , Алия Карамовна Мазитова<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

<sup>2</sup> Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: [ilnaz.zaripov1996@mail.ru](mailto:ilnaz.zaripov1996@mail.ru)

**АННОТАЦИЯ: Введение.** В данной обзорной статье приведены данные о добавках, используемых для понижения горючести полимерных композиций. Показано, что для этой цели используют не отдельные вещества, а их смеси, включающие замедлители горения, синергисты, стабилизаторы. Принцип действия антиприренов сводится к тому, что при достижении соответствующей степени концентрации антиприренов в материале они не дают ему гореть без наличия источника возгорания. Под воздействием огня на обработанный материал в нем происходят различные химические и физические процессы, не дающие пламени разгореться. **Основная часть.** Проанализированы достоинства и недостатки основных антиприренов, используемых в настоящее время, к которым относятся соединения сурьмы, галогенсодержащие соединения, фосфорсодержащие вещества, а также гидроксиды алюминия и магния. Рассмотрены различные механизмы замедления процессов горения при использовании антиприренов. Показано, что бромсодержащие антиприрены намного более эффективны, чем хлорсодержащие. Они разлагаются в узком интервале температур. Кроме того, пластмассы, содержащие в качестве антиприренов соединения брома, легко подвергаются вторичной переработке благодаря высокой термостабильности таких антиприренов. Фосфорсодержащие соединения обладают пластифицирующей способностью и повышают огнестойкость пластиков. Действие в конденсированной фазе заключается в том, что при разложении антиприрена образуются остатки фосфорной кислоты, которые выступают как дегидратирующие агенты, способствуя образованию карбонизированных структур. При этом также может образовываться аэрозоль, способствующий дезактивации радикалов за счет эффекта стенки. Особенно интересны соединения, содержащие галоген и фосфор. Достоинства этих соединений заключаются в следующем: отщепляя при разложении галогенрадикалы, дезактивируют активные радикалы; способствуют образованию карбонизированных структур. Гидроксиды металлов под воздействием высоких температур разлагаются с выделением воды. Реакция разложения является эндотермической, что приводит к охлаждению субстрата до температур ниже точки воспламенения. Образование воды способствует разбавлению горючих газов, выделяющихся при разложении, ослабляет действие кислорода и уменьшает скорость горения. Эффективность гидроксидов прямо пропорциональна их содержанию в полимере. Наибольшая эффективность наблюдается при введении гидроксида алюминия в кислородсодержащие полимеры (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат, полиамид). Гидроксид магния дороже, чем гидроксид алюминия, но обладает более высокой теплостойкостью (до 300°C). **Заключение.** Таким образом, из перечисленных антиприренов первое место по объему применения (более 40% всего объема антиприренов) занимают гидроксиды алюминия и магния. Это обусловлено их низкой стоимостью, технологичностью их применения и экологической безопасностью. Правильно подобранная система на основе гидроксида металла позволяет получить дешевый негорючий материал с небольшим количеством дыма, выделяющегося при разложении. Поэтому применение гидроксидов металлов в качестве антиприренов постоянно возрастает.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** антиприрены, горючесть, огнестойкость, полимерные композиции.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Берестова Т.В., Мазитова А.К. Добавки для понижения горючести полимеров // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 156–161. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161>.

### ВВЕДЕНИЕ

Антиприрены – вещества, предохраняющие материалы органического происхождения от воспламенения и самостоятельного горения [1, 2]. В на-

стоящее время используют не отдельные вещества, а их смеси. В состав антиприрена входят [3, 4]:

- замедлители горения (фосфаты аммония, сульфат аммония, борная кислота, силикаты, хлористый аммоний);

© Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Берестова Т.В., Мазитова А.К., 2022

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

- синергисты — вещества, усиливающие действие основного замедлителя;
- стабилизаторы, ограничивающие расход замедлителя.

Принцип действия антиприренов сводится к тому, что при достижении соответствующей степени концентрации антиприренов в материале они не дают ему гореть без наличия источника возгорания. Под воздействием огня на обработанный материал в нем происходят различные химические и физические процессы, не дающие пламени разгореться [5–8].

Все средства, повышающие огнезащитные свойства, делятся на покрытия, защищающие от огня, и составы, проникающие в обрабатываемый материал. К первой категории относятся лаки, пасты, краски и различные обмазки, ко второй — огнезащитные пропитки.

Горение представляет собой очень сложный физико-химический процесс, включающий как химические реакции деструкции, сшивания и карбонизации, химические реакции превращения и окисления газовых продуктов горения, так и физические процессы теплопередачи [9]. Реакции фактически приводят к двум основным типам продуктов: газообразным веществам (горючим и негорючим) и твердым продуктам (углеродсодержащим и минеральным). При протекании реакции в предпламенной области образуются топливо для пламени, сажа и пр.

В результате термической деструкции полимеров выделяются летучие продукты распада, содержащие группы C—C и C—H, которые образуют свободные радикалы, вступающие в реакцию с кислородом. Полагают, что способность к возгоранию и скорость распространения пламени зависят от скорости образования радикалов HO<sup>·</sup>. Реакции, приводящие к образованию CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, сильно экзотермичны, т.е. проходят с выделением большого количества тепла. Это тепло создает условия для самоускорения реакций окисления и последующего горения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Механизмы действия антиприренов

Существуют несколько механизмов замедления процессов горения с помощью антиприренов [10]:

— Ингибирование свободно радикальных процессов, происходящих при разложении полимера вследствие образования веществ, способных взаимодействовать со свободными радикалами с образованием радикалов с меньшей реакционной способностью. Замедлению горения способствует введение веществ, содержащих галогены (хлор, бром, фтор, йод), азот, фосфор и бор. При высоких температурах антиприрены разлагаются с образованием галоген радикалов,

реагирующих преимущественно с очень активными радикалами HO<sup>·</sup>.

— Образование защитного слоя на поверхности полимера, непроницаемого для кислорода или изолирующего от дальнейшего нагревания. Механизм действия целого ряда антиприренов (силикаты и алюмосиликаты, бораты металлов, фосфаты, их органические производные) обусловлен преобладающим влиянием на процесс горения образующихся на поверхности защитных слоев. Эти слои состоят из нелетучих остатков (главным образом, оксидов металлов), образующихся при разложении неорганических соединений. Антиприрены, которые способны создавать плотные поверхностные защитные слои, создают своего рода физический барьер действию пламени на полимер, затрудняют диффузию горючих газов в пламя. К таким антиприренам относятся метаборат бария, борат цинка, тетрафторборат аммония [11]. Антиприрены, содержащие соединения фосфора, снижают кислородопроницаемость материала. Примером такого антиприрена может быть диаммоний фосфат. Одним из эффективных ингибиторов процессов горения и тления различных полимеров считаются органические соединения фосфора, действие которых объясняется следующим способом [12]. При пиролизе полимеров, содержащих соединения фосфора, происходит образование фосфорной кислоты и ее ангидридов, которые катализируют дегидратацию и дегидрирование.

— Выделение негорючих газов, препятствующих подводу кислорода в зону горения. При применении в качестве антиприренов соединений галогенов замедление горения полимеров может происходить по следующему механизму. Хлорид или бромид аммония при температурах выше 200 и 250°C, соответственно, разлагаются на аммиак, хлороводород и бромоводород. Газообразные (хлороводород и бромоводород) подавляют горение. Кроме этого, уменьшается процентное содержание кислорода в газовой фазе, что также замедляет горение.

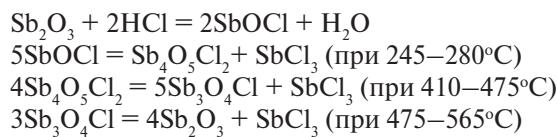
— Разложение антиприренов или взаимодействие антиприренов и продуктов их деструкции с другими веществами с поглощением тепла, что способствует уменьшению температуры материала ниже точки воспламенения. Большую группу веществ, применяемых в качестве антиприренов, составляют вещества, эндотермически разлагающиеся с образованием негорючих продуктов. Сюда можно отнести гидроксиды алюминия, магния, цинка, гидратированные карбонаты металлов, мочевину и другие вещества. Механизм действия таких антиприренов связан с чисто физическим влиянием на тепловой баланс процесса горения.

— Предотвращение распространения пламени в процессе горения вследствие дополнительных

затрат тепловой энергии на нагревание порошкообразного наполнителя. Введение негорючих наполнителей в материалы позволяет снизить содержание горючей составляющей. Для этой цели, кроме дисперсных наполнителей (мел, песок), могут применять и волокнистые (стеклянные волокна, асбест). Большое значение имеют силикаты калия или натрия как предохранительное против огня средство, так как покрытые им материалы загораются с большим трудом. Для этой цели материал покрывается несколько раз раствором силиката, к которому добавлено немного мела, костяной золы, минеральной краски или каких-нибудь других измельченных, неплавких, минеральных веществ. Обработанные материалы не горят пламенем, а только обугливаются и тлеют.

### Синергические смеси антиприренов

Следует отметить, что на самом деле механизм действия антиприренов не сводится к какому-либо одному эффекту, а является более сложным процессом. Одновременное присутствие в смеси двух или более веществ, препятствующих образованию пламени, способствует достижению значительно большего эффекта по сравнению с эффектами, наблюдаемыми при использовании тех же веществ раздельно. Совместное действие двух веществ называется синергизмом. Самым эффективным антиприреном в настоящее время является оксид сурьмы в сочетании с галогенсодержащими органическими соединениями (оптимальное мольное соотношение  $Sb/Cl = 1/3$ ). Эта смесь обладает синергическим эффектом [13]. Предположительный механизм действия этой смеси следующий. Выделяющийся при горении полимера из голого оранического соединения хлористый водород взаимодействует с оксидом сурьмы с образованием оксихлорида сурьмы, который, в свою очередь, может разлагаться с выделением трихлорида сурьмы:



Образующийся на конечной стадии оксид сурьмы, являясь порошкообразным наполнителем, вносит свой вклад в замедление горения, создавая дополнительные препятствия для распространения пламени. Газообразный трихлорид сурьмы, в свою очередь, ограничивает подвод кислорода в зону горения. Широкому использованию оксида сурьмы способствует также то, что он не является канцерогенным соединением.

### Галогенсодержащие антиприены

Хорошо зарекомендовали себя галогенсодержащие антиприены [14–18]. Для однотипных соединений эффективность галогенсодержащих антиприренов убывает в ряду  $J > Br > Cl > F$ . Наибольшей эффективностью обладают соединения с пониженной энергией связи углерод – галоген. Эффективность галогенсодержащих соединений определяется тем, насколько легко могут диссоциировать связи  $C-G$ . То есть эффективность антиприена зависит не только от содержания галогена, но и от радикала, к которому он присоединен. Таковыми являются галогенсодержащие алифатические соединения. Чаще всего используют хлорированный парафин ( $C_nH_{2n+2-x}Cl_x$ , где  $n = 10\text{--}30$ ;  $x = 1\text{--}7$ ), содержащий до 70% связанного хлора. Реже применяют ароматические хлор- или бромсодержащие соединения, например, декабромдифенилоксид,  $(C_{16}H_{10}Br_{10}O)$ , тетрахлорфталиевый ангидрид  $(C_8Cl_4O_3)$ . Ароматические соединения более устойчивы и поэтому в меньшей степени снижают горючесть. Соединения фтора и иода не применяются в качестве антиприренов, так как соединения фтора малоэффективны, а соединения иода обладают низкой термостабильностью при переработке. Применение хлора в последнее время сильно сократилось в связи с давлением общественных организаций, обеспокоенных токсичностью данных соединений. А при сжигании бромсодержащих антиприренов не выделяются токсичные соединения (диоксины и фураны). Номенклатура и объем использования бромсодержащих антиприренов больше, чем хлорсодержащих. Бромсодержащие антиприены намного более эффективны, чем хлорсодержащие, так как продукты их горения менее летучи. Кроме того, хлорсодержащие антиприены выделяют хлор в широком интервале температур, поэтому содержание его в газовой фазе низкое, а бромсодержащие антиприены разлагаются в узком интервале температур, обеспечивая таким образом оптимальную концентрацию брома в газовой фазе. Также следует обратить внимание на такой немаловажный фактор, как вторичная переработка материалов, содержащих антиприены. По последним данным, пластмассы, содержащие в качестве антиприренов соединения брома, легко подвергаются вторичной переработке благодаря высокой термостабильности таких антиприренов.

Полибромдифенил оксид и его производные. Подходят для большинства пластмасс, кроме вспененного полистирола. В настоящее время применение таких соединений сокращается в связи с давлением экологических организаций.

Дибромнеопентил гликоль и его производные. Применяется для полиэфирных смол в процессе синтеза. Содержит 60% брома. Обладают высокой

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

термостабильностью и химстойкостью. Высокоэффективный антипирен. Высокая светостойкость. Может также использоваться в жестких полиуретановых пенах.

Дибромстирол и его производные. Включая привитые сополимеры с полипропиленом. Рекомендован для акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков, полистирола, конструкционных термопластов, ненасыщенных полиэфиров и полиуретанов. Не рекомендован для использования в ПВХ, вспененном полистироле и жестких полиуретановых пенах.

Гексабромциклогодекан используется в ударопрочном полистироле и полиолефинах, в том числе и вспененных.

Пентабромбензил акрилат разработан для конструкционных термопластов. Используется при реакционной экструзии для сополимеризации с полиамидаами, термопластичными полиэфирами и поликарбонатом, позволяя получить класс V-0 по UL-94 (самогашение в течение менее 10 секунд после удаления пламени; не допускается образование горящих капель) без ухудшения физико-механических свойств полимера.

Может применяться также и для наполненного полипропилена. Благодаря высокой молекулярной массе не мигрирует, обладает высокой термостабильностью, химстойкостью. Улучшает совместимость наполнителя (стекловолокна) с полипропиленом.

Бромированные эпоксиолигомеры (ВЕО) применяются для конструкционных термопластов (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат, полиамид 6, 66 и т.д.), термопластичных полиуретанов и смесей поликарбоната/акрилонитрилбутадиенстирола. Благодаря высокой молекулярной массе не мигрирует, обладает высокой термостабильностью, химстойкостью.

Тетрабромфталевый ангидрид и его производные. Используется в реактопластах и полиуретанах. Может использоваться в ПВХ и термоэластопластах.

Трибромнеопентанол содержит 70% алифатически присоединенного брома, вводится на стадии синтеза, химически взаимодействует с полимером. Обладает очень высокой термо- и светостойкостью. Не подвержен гидролитической деструкции. Хорошо растворим в полиолах, что делает его особенно подходящим для изготовления негорючих полиуретанов.

Трибромфенол и его производные. Используется для полистирола и его сополимеров (полистирол с высокой ударной прочностью, акрилонитрилбутадиенстирол), поликарбоната, полиамида, вспененного полиуретана и реактопластов. Не подходит для полиолефинов и ПВХ.

Бромированный триметилфенил индан (разработка компании Dead Sea Bromine Group). Содержит 73% ароматически присоединенного брома, обеспеч-

чивая прекрасную термостабильность, что особенно важно при переработке конструкционных пластмасс. Позволяет повысить ударную вязкость и текучесть расплава термопластов.

### Фосфорсодержащие антипирены

Фосфорсодержащие антипирены могут быть органическими и неорганическими [19, 20]. Они активны в газовой или конденсированной фазе, а иногда и в обеих. Полагают, что соединения фосфора действуют в газовой фазе через образование радикалов  $\text{PO}^\cdot$ , поглощающих активные радикалы  $\text{H}^\cdot$  и  $\text{OH}^\cdot$ , которые способствуют распространению пламени.

Действие в конденсированной фазе заключается в том, что при разложении антипирена образуются остатки фосфорной кислоты, которые выступают как дегидратирующие агенты, способствуя образованию карбонизированных структур. При этом также может образовываться аэрозоль, способствующий дезактивации радикалов за счет эффекта стенки.

Номенклатура фосфорсодержащих соединений довольно широка, их можно разделить на 2 группы – галогенсодержащие и не содержащие галогенов.

Достоинство соединений, содержащих галоген и фосфор:

- отщепляя при разложении галогенрадикалы, дезактивируют по обычному для галогенов механизму активные радикалы  $\text{H}^\cdot$  и  $\text{OH}^\cdot$ ;
- способствуют образованию карбонизированных структур по описанному выше механизму.

Ко второй группе относятся красный фосфор, водорастворимые неорганические фосфаты, нерастворимый фосфат аммония и полифосфаты, органофосфаты и фосфонаты, а также фосфиноксиды.

Красный фосфор является прекрасным антипиреном для гетероцепных полимеров (полиэтилентерефталат, поликарбонат и т.п.). Специально обработанный красный фосфор используется для огнезащиты электротехнических изделий из полиамидов. В комбинации со вспенивающими и карбонизирующими агентами применяется в интумесцентных антипиренах. Применение фосфора ограничено его токсичностью и красным цветом.

Триарилфосфаты. Трифенилфосфат (TPP) применяется в смесях поликарбоната/акрилонитрилбутадиенстирола и полифениленоксида. Трикрезилфосфат (TCP) в основном используется в ПВХ в качестве пластификатора, повышающего огнестойкость, и в стиролсодержащих полимерах.

Диарилфосфаты (RDP и BDP) – бесцветные жидкости, используемые в основном в смесях поликарбоната/акрилонитрилбутадиенстирола, полибутилентерефталата, полифениленоксида. Это низколетучие, теплостойкие продукты с более низ-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

ким, по сравнению с триарилфосфатами, пластифицирующим эффектом. Обычно достаточно 10–15% таких соединений для достижения соответствующего класса огнестойкости по UL-94. Обладают высокой стойкостью к гидролитической деструкции.

**Алкилфосфонаты.** Высокая эффективность соединений данного класса обусловлена большим содержанием фосфора. Однако высокая летучесть таких антиприренов ограничивает их применение в жестких полиуретановых пенах и высоконаполненных полизэфирах.

**Олигомерные циклические фосфонаты.** Высокая вязкость таких соединений усложняет их использование в чистом виде. Чаще всего используются суперконцентраты. В основном применяются для изготовления негорючих волокон из полиэтилентерефталата, при содержании 6% активного компонента в полиэтилентерефталате удовлетворяют всем требованиям к такой продукции. Благодаря низкой летучести могут использоваться в жестких полиуретановых пенах.

### Гидроксиды металлов

Гидроксид алюминия (ATH) применяется в эластомерах, реактопластах и термопластах. Разлагается при температурах 190–230°C в зависимости от размера частиц 0,25–3 мкм. Основные области применения – бутадиен-стирольный латекс, для ковровых покрытий, изготовление негорючей эластомерной кабельной изоляции, ленточных транспортеров, кровельных материалов и шлангов. Наибольшая эффективность наблюдается при введении гидроксида алюминия в кислородсодержащие полимеры (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат, полiamид).

Гидроксид магния (MH) представляет собой белый порошок с размером частиц от 0,5 до 5 мкм. Для достижения огнезащитного эффекта вводится в количестве 50–70% от массы полимера. Гидроксид магния дороже, чем гидроксид алюминия, но обладает более высокой теплостойкостью (до 300°C). В основном используется в полипропилене, акрило-

нитрилбутадиенстирольных пластиках и полифениленоксиде, не рекомендуется использовать в термопластичных полизэфирах (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат), так как он ускоряет деструкцию таких полимеров.

Гидроксиды металлов под воздействием высоких температур разлагаются с выделением воды. Реакция разложения является эндотермической, что приводит к охлаждению субстрата до температур ниже точки воспламенения. Образование воды способствует разбавлению горючих газов, выделяющихся при разложении, ослабляет действие кислорода и уменьшает скорость горения. Эффективность гидроксидов прямо пропорциональна их содержанию в полимере [21].

В некоторых тестах, используемых для оценки электротехнических изделий и кабельной изоляции, основными параметрами являются самозатухание материала и стойкость к возгоранию. Гидроксиды металлов подходят для применения в этих областях. Более того, после разложения образуется теплоизолирующий слой, который также предотвращает выделение дыма.

Борат цинка может применяться для огнезащиты ПВХ, полиолефинов, полiamидов, эластомеров и эпоксидных смол. В галогенсодержащих системах используется совместно с оксидом сурьмы, а в безгалогенных – с гидроксидами металлов или красным фосфором.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из перечисленных антиприренов первое место по объему применения (более 40% всего объема антиприренов) занимают гидроксиды алюминия и магния. Это обусловлено их низкой стоимостью, технологичностью их применения и экологической безопасностью. Правильно подобранная система на основе гидроксида металла позволяет получить дешевый негорючий материал с небольшим количеством дыма, выделяющегося при разложении. Поэтому применение гидроксидов металлов в качестве антиприренов постоянно возрастает.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маслова И.П. Химические добавки к полимерам. Справочник. М.: Химия, 1981. 264 с.
2. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. М.: Знание, 1981. 61с.
3. Вейл Э., Левчик С. Антиприены для пластмасс и текстиля. Практическое применение. Мюнхен: Изд-во Хансер, 2009.
4. Гликштерн М. В. Антиприены // Полимерные материалы. 2003. № 3. С. 22–23; № 4. С. 15–18.
5. Копылов В.В. Полимерные материалы с пониженной горючестью. М.: Химия, 1986. 224 с.
6. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Изд. Лабиринт, 1994. 367 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

7. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981. 280 с.
8. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я., Михайлов Д.С., Ушков В.А., Филин Л.Г. Пожарная опасность строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 380 с.
9. Кодолов В.И. Горючность и огнестойкость полимерных материалов. М.: Химия, 1976. 160 с.
10. Халтуринский Н.А., Берлин А.А., Попова Т.В. Горение полимеров и механизмы действия антипиренов // Успехи химии. 1984. Т. 53, № 2. С. 21.
11. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 274 с.
12. Плотникова Г.В., Егоров А.Н. Доступные фосфорорганические соединения как замедлители горения // Пожаровзрывобезопасность. 2003. № 6. С. 26–29.
13. Федеев С.С, Богданова В.В., Сафропенко Е.Д. Ингибирование горения полимеров. Исследование механизма действия синергических смесей оксид сурьмы – галогенсодержащие соединения. М. 1988. С. 41.
14. Levchik S.V. Introduction to Flame Retardancy and Polymer Flammability. *Flame Retardant Polymer Nanocomposites*. 2006; 1–29.
15. Raffan-Montoya F., Stoliarov S.I. Measurement of heat release in laminar diffusion flames fueled by controlled pyrolysis of milligram-sized solid samples: Impact of bromine- and phosphorus-based flame retardants. *Combustion and Flame*. 2015; 162(12): 4660–4670.
16. Shaklein A.A. et al. Two-step gas-phase reaction model for the combustion of polymeric fuel. *Fuel*. 2019; 255(115878).
17. Snegirev A.Y. et al. Autocatalysis in thermal decomposition of polymers. *Polymer degradation and stability*. 2017; 137: 151–161.
18. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 9. С. 57–63.
19. Kausar A. et. al. Recent Developments in Different Types of Flame Retardants and Effect on Fire Retardancy of Epoxy Composite. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*. 2016; 55(14): 1512–1535.
20. Кулезнев П.В., Балакин В.М. Исследование влияния фосфорсодержащих антипиренов на горючесть и диэлектрические свойства эпоксидных компаундов // Пластические массы. 2012. № 9. С. 8–9.
21. Чалый В. П. Гидроокиси металлов: закономерности образования, состав, структура и свойства. Киев: Институт общей и неорганической химии АН УССР. Наук. думка, 1972. 158 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- Зарипов Ильназ Ильгизович** – ассистент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ilnaz.zaripov1996@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2051-831X>
- Вихарева Ирина Николаевна** – ассистент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, irina.vikhareva2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5681-2767>
- Буйлова Евгения Андреевна** – кандидат химических наук, доцент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, evg-builova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8799-6434>
- Берестова Татьяна Вячеславовна** – кандидат химических наук, доцент каф. «Физическая химия и химическая экология», Башкирский государственный университет, Уфа, Россия, berestovatv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0738-8779>
- Мазитова Алия Карамовна** – доктор химических наук, профессор, заведующий каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, elenaasf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2304-1692>

ВКЛАД АВТОРОВ

**Зарипов И.И.** – развитие методологии; написание исходного текста; доработка текста.

**Вихарева И.Н.** – концепция исследования.

**Буйлова Е.А.** – сбор материала.

**Берестова Т.В.** – участие в разработке материала.

**Мазитова А.К.** – научное руководство; итоговые выводы.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Статья поступила в редакцию 22.02.2022; одобрена после рецензирования 29.03.2022; принятая к публикации 05.04.2022.

## PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

Compliance requirements of publication ethics in the preparation and publication of the journal Science Editor and Publisher apply to all members of the publishing process, i.e., authors, editors, reviewers, and the publisher of the journal. The editorial board monitors compliance with the ethics requirements based on the manuals prepared by international specialized organizations, associations and publishers, as well as the Association of Science Editors and Publishers. The main standards relied on by the journal «Nanotechnologies in construction» are those developed by the Committee on Publication Ethics ([Committee on Publication Ethics](#)) in the United Kingdom, by the [publisher Elsevier](#) (Netherlands), and other non-Russian editorial associations and information systems, as well as the [declaration of «Ethical Principles of Scientific Publications»](#), adopted by the Association of Science Editors and Publishers (Russia).

### **The responsibility of the authors of material for the journal «Nanotechnologies in construction»**

1. The author submits materials for review, which have not been previously published. If the article is based on previously published material which are not academic articles or based on materials presented on the Internet, the author should notify the editorial staff of the journal.
2. The author does not submit the same article to different journals for review.
3. All co-authors consent to the submission of their articles to the journal.
4. The author should inform the editorial staff about a potential conflict of interest. In the case of the absence of any competing interests the author should claim that by writing «Author declare the absence of any competing interests» in the paper.
5. The author takes the necessary steps to ensure the correctness of citations in the submitted article.
6. The list of authors included only individuals who have made significant contributions to the research.
7. The author correctly cites his or her previous work as to avoid self-plagiarism in the manuscript and the artificial increase of volume of publications (salami-slicing).
8. The author, who is acting as the contact with journal, informs all other co-authors of all changes and suggestions from the editorial staff, and does not make decisions regarding the article alone without the written consent of all co-authors.
9. The author properly corresponds with the reviewer through contact with the editor and responds to comments and observations if they arise.
10. If necessary, the authors either adjust the data presented in the article, or refute them.

### **Responsibility of the editors of the journal «Nanotechnologies in construction»**

1. The editors are personally and independently responsible for the content of the materials published and recognize that responsibility. The reliability of the work in question and its scientific significance should always be the basis in the decision to publish.
2. The editors of the journal can check the materials with anti-plagiarism system «Antiplagiat» detecting borrowed fragments to provide copyright protection.
3. The editors make fair and objective decisions, regardless of any commercial considerations and provide a fair and efficient process for the independent review.
4. The editors evaluate manuscripts' intellectual content without regard to race, gender, sexual orientation, religion, origin, nationality, and/or the political preferences of the authors.
5. The editors do not work with articles for which they have a conflict of interest.
6. The editors resolve conflict situations arising during the editorial process, as well as use all available means to resolve these situations.
7. The editors of the journal publish information concerning corrections, rebuttals, and review articles in case the need arises.
8. The editors of the journal do not publish the final version of the article without the consent of the authors.

### The responsibility of the reviewers of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The reviewer evaluates his or her own availability before the examination of the manuscript and accepts materials for review only if the reviewer is able to allow for sufficient time as to ensure the quality his or her work.
  2. The reviewer must use the form created by the editors and delivered with paper. The reviewer may give extended review.
  3. The reviewer notifies the editorial staff of any conflict of interest (if one exists) before the start of the review of the paper.
- In the case of the absence of any competing interests the reviewer should claim that by writing «The reviewer declares the absence of any competing interests» in the review.
4. The reviewer does not send information about the article and or any of the data contained within the article to any third party.
  5. The reviewer does not use the information obtained from the article for any personal and or commercial purposes.
  6. The reviewer does not make conclusions about the quality of the article on the basis of subjective data, e.g. the personal relationship to the author, gender, age, religion, etc.
  7. The reviewer uses only proper and appropriate language and explanations in respect to the articles, avoiding any personal remarks.

### The responsibility of the publisher of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The publisher not only supports scientific communication and invests in the process, but is also responsible for complying with all current guidelines and standards for publishing scientific work.
2. The publisher does not affect the editorial policy of the journal.
3. The publisher provides legal support to the journal if necessary.
4. The publisher provides for the timely release of future issues of the journal.
5. The publisher publishes changes, explanations, and recalls articles that have been identified to contain scientific misconduct and or critical errors.

### The responsibility of the editor-in-chief of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The editor-in-chief is responsible for making a decision which of submitted papers are to be published in the journal. This decision always must be based on the examination of paper reliability and its importance for scientists and readers. The editor-in-chief may be guided by methodical recommendation elaborated by the editorial board of the journal. He also may take into account legal requirements, such as exclusion of libel, infringement of copyright and plagiarism. When making decision on the publication, the editor-in-chief may consult with the members of editorial board, reviewers.
2. The editor-in-chief evaluates submitted papers by the intellectual content, regardless of the race, sex, sexual preference, religion, ethnic origins, citizenship and political views of the author.
3. The editor-in-chief, editorial staff, members of the editorial board must not disclose information on the submitted manuscript to the third person except for the author, reviewers, potential reviewers, and the publisher.
4. The information contained in the submitted paper cannot be used in the paper of the editor-in-chief, members of the editorial board without author's written permission. Confidential information or ideas obtained during review must be kept in secret and must not be used for self-profit.
5. The editor-in-chief should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, co-operation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.
6. The editor-in-chief should ask all authors to present information on the certain competitive interests and publish corrections if the conflict of the interests has been revealed after the publication. If necessary another appropriate action such as publication of disproof or expression of a concern can be performed.
7. The editor-in-chief should take reasoned and prompt measures if he gets complaints of ethnic character in respect to the submitted manuscript or issued paper, contacting with the editors and publisher.

### Complaints and appeals handling

In the case of incoming complaints and appeals a commission is formed. The commission can consist of the publisher, the editor-in-chief, deputy editor-in-chief, members of editorial council, authors and specialists which are competent in the considering subjects.

An investigation is held and the results of it are reported to all interested parties. According to laws, if it is necessary, the materials are delivered to competent state bodies.

### **Policy of disclosure and conflicts of interest /competing interests**

Unpublished data from manuscripts submitted for consideration can not be used for personal research without the expressed written consent of the author.

Information or ideas obtained through peer review and related actives, which potentially can be beneficial to any party other than the author, must be kept confidential and not be used for personal gain.

The editors and reviewers should not participate in the examination of manuscripts in the event of a conflict of interest that is a result of any competitive, cooperative, and or other interactions and relationships with any of the authors, companies, and or other organizations involved in the creation or presentation of the works.

### **The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility**

The journal papers (metadata of papers) are available for free access at the journal's website and at the websites of different citation systems (data bases).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution». This kind of license allows other people to distribute, edit, correct and base on the work of the authors, even with commercial purpose, while the authors mention them as co-authors. The license is recommended to distribute widely and use licensed materials.

The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility are aimed at providing «transparent» science and transparency is a guarantee of high-quality research and innovations.

### **Ethical oversight of the published materials**

The publisher and the editor-in-chief should deal with protection of reputation of the published materials by studying and evaluating claimed or potential delinquency (research, publications, reviews and editorial activities) jointly with scientific community.

That means interaction with the author of the manuscript and detailed consideration of the complaints or declared reclamations. To detect such delinquencies as plagiarism, the editor must use proper license software or systems.

If the editor-in-chief obtains proved evidence of delinquency, he must inform the publisher and the members of editorial council about this, as well as immediately notify the author about necessity to correct the paper or paper retraction (in dependence on the situation).

### **Derivation and plagiarism**

During the consideration of an article, the editorial staff of the journal «Nanotechnologies in construction» may conduct a verification of the submitted materials with the help the Anti-plagiarism system. In the case of the discovery of multiple incidents of content matching, the editorial staff acts in accordance with the rules of COPE.

### **Intellectual property**

The editors should carefully deal with the issues concerning intellectual property and interact with the publisher when settling the cases of probable delinquencies and agreements on intellectual property protection.

The editors aside from using plagiarism detecting tools can also:

- support the authors whose copyright was infringed or those who suffered from plagiarism;
- cooperate with the publisher to protect copyright and to pursue infringer (for example, by applying for paper retraction or removing materials from websites).

### **Discussion of the papers published in the journal. Corrections made after publication**

The editors must be open for the researches that oppose the papers published earlier in the journal; to encourage and to be ready to consider valid criticism of the papers published in the journal.

The authors of the criticized works should have an opportunity to respond the criticism. The papers describing only negative results can also be published.

### **Preprint and postprint policy**

During the submission process, the author must confirm that the article has not been published and or accepted for publication in any other journal. When citing articles published in the journal «Nanotechnologies in construction», the publisher requests the authors to provide a link (the full URL of the material) to the official website of the journal.

Articles, which have been previously posted by the author on personal and or public websites that have no relationship to any other publishers, are allowed to be submitted to the journal.

### On the procedure in case of abusive practice (infringement)

Publisher, editor-in-chief, each member of editorial staff member of editorial board, author, reviewer or reader must comply journal's Publication Ethics and are obliged to report any known facts concerning committed or potential infringement.

The journal's editors immediately launch investigation on all messages that state abusive practice (infringements). If the information is confirmed, the measures to eliminate claimed abusive practice (infringements) will be taken. According to legislation, all materials, if it is necessary, are referred to proper state bodies.

In response to all author's claims the editors give full and substantiated replies and make great efforts to resolve any conflicts.



## ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ ПРАКТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

Требования соблюдения публикационной этики при подготовке и издании журнала «Нанотехнологии в строительстве» касаются всех участников редакционно-издательского процесса – авторов, редакторов, рецензентов и издателя, создающих этот журнал. Редакция журнала следит за выполнением требований этики, опираясь на руководства, подготовленные зарубежными профильными организациями, ассоциациями и издательствами, а также Ассоциацией научных редакторов и издателей. Основными документами, на которые опирается редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве», являются разработки Комитета по публикационной этике ([Committee on Publication Ethics](#)), Великобритания, [издательства Elsevier](#) (Нидерланды) и других зарубежных редакторских ассоциаций и информационных систем, а также [Декларация «Этические принципы научных публикаций»](#), принятая Ассоциацией научных редакторов и издателей (Россия).

### Ответственность авторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Автор отправляет на рассмотрение статью, материалы которой ранее не были опубликованы. Если статья основана на ранее опубликованных материалах не статейного характера или материалы представлены в Интернете, следует уведомить об этом редакцию журнала.
2. Автор не отправляет на рассмотрение одну статью в разные журналы.
3. Все соавторы согласны на представление статьи в журнал.
4. Автор уведомляет редакцию о потенциальном конфликте интересов. Об отсутствии конфликта интересов автор указывает в статье – «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».
5. Автор предпринимает необходимые меры, чтобы убедиться в корректности представленных в статье цитирований.
6. В список авторов включаются только лица, внесшие значительный вклад в проведение исследования.
7. Автор корректно цитирует свои предыдущие работы и избегает самоплагиата в рукописи и искусственно увеличения объема публикаций (*salami-slicing*).
8. Контактный автор уведомляет своих соавторов обо всех изменениях и предложениях со стороны редакции журнала и не принимает решений относительно статьи единолично, без письменного согласия всех соавторов.
9. Автор корректно ведет переписку с рецензентом через редактора и отвечает на комментарии и замечания, если они возникают.
10. При необходимости авторы корректируют представленные в статье данные или опровергают их.

### Ответственность редакторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Редакторы журнала самолично и независимо несут ответственность за содержание публикуемых материалов и признают эту ответственность. Достоверность рассматриваемой работы и ее научная значимость всегда должны лежать в основе решения о публикации.
2. Редакторы журнала могут проверить полученные материалы в системе [Антиплагиат](#) по обнаружению заимствований, способствуя защите авторского права.
3. Редакторы принимают честные и объективные решения независимо от коммерческих соображений и обеспечивают честный и эффективный процесс независимого рецензирования.
4. Редакторы оценивают интеллектуальное содержание рукописей вне зависимости от расы, пола, сексуальной ориентации, религиозных взглядов, происхождения, гражданства или политических предпочтений Авторов.
5. Редакторы не работают со статьями, в отношении которых у них есть конфликт интересов.
6. Редакторы журнала разрешают конфликтные ситуации, возникающие в процессе работы, и используют для их разрешения все доступные средства.
7. Редакторы журнала публикуют информацию об исправлениях, опровержениях и отзывах статей в случае возникновения такой необходимости.
8. Редакторы журнала не публикуют конечный вариант статьи без его согласования с авторами.

### Ответственность рецензентов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Рецензент оценивает свою занятость перед согласием на экспертизу рукописи и соглашается на рецензирование только при наличии достаточного времени на качественную работу.

2. Рецензент использует разработанную редакцией журнала форму, которую он получает вместе со статьей. Рецензент вправе дать более расширенную рецензию.

3. Рецензент предупреждает редакцию о наличии конфликта интересов (если он возник) до начала работы со статьей.

Об отсутствии конфликта интересов рецензент указывает в рецензии – «Рецензент заявляет об отсутствии конфликта интересов».

4. Рецензент не передает сведения о статье и данные, которые в ней содержатся, третьим лицам.

5. Рецензент не использует информацию, полученную из статьи, в личных и коммерческих целях.

6. Рецензент не делает выводов о качестве статьи на основе субъективных данных: личного отношения к автору, его пола, возраста, вероисповедания.

7. Рецензент использует только корректные выражения и объяснения в отношении статьи, не переходит на личности.

### Ответственность издателя журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Издатель не только поддерживает научные коммуникации и инвестирует в данный процесс, но также несет ответственность за соблюдение всех современных рекомендаций в публикуемой работе.

2. Издатель не влияет на редакционную политику журнала.

3. Издатель оказывает юридическую поддержку редакции журнала при необходимости.

4. Издатель обеспечивает своевременность выхода очередных выпусков журнала.

5. Издатель публикует правки, пояснения и отзывает статьи, в которых были выявлены нарушения научной этики или критические ошибки.

### Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Главный редактор отвечает за принятие решения о том, какие из представленных в редакцию журнала работ следует опубликовать. Это решение всегда должно приниматься на основе проверки достоверности работы и ее важности для исследователей и читателей. Главный редактор может руководствоваться методическими рекомендациями, разработанными редколлегией журнала, и такими юридическими требованиями как недопущение клеветы, нарушения авторского права и плагиата. Также при принятии решения по публикации главный редактор может советоваться с членами редсовета, редколлегии, рецензентами.

2. Главный редактор оценивает представленные работы по их интеллектуальному содержанию, невзирая на расу, пол, сексуальную ориентацию, религию, этническое происхождение, гражданство или политические взгляды автора.

3. Главный редактор, сотрудники редакции, члены редколлегии не должны раскрывать информацию о представленной рукописи кому-либо другому, за исключением автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, а также издателя.

4. Сведения, содержащиеся в представленной статье, не должны использоваться в какой-либо собственной работе главного редактора и членов редсовета и редколлегии без письменного разрешения автора. Конфиденциальная информация или идеи, полученные при рецензировании, должны храниться в секрете и не использоваться для получения личной выгоды.

5. Главному редактору следует отказаться от своего участия в рецензировании в случае, если присутствует конфликт интересов, проистекающий из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, компаний или учреждений, имеющих отношение к статье.

6. Главному редактору следует требовать от всех авторов журнала предоставлять сведения о соответствующих конкурирующих интересах и публиковать исправления, если конфликт интересов был разоблачен после публикации. В случае необходимости, может выполняться другое подходящее случаю действие, такое как публикация опровержения или выражения озабоченности.

7. Главному редактору следует принимать разумно быстрые меры при поступлении жалоб этического характера в отношении представленной рукописи или опубликованной статьи, имея контакт с редакцией, издателем.

### Обработка жалоб и апелляций

В случае поступления жалоб и апелляций назначается комиссия, в состав которой могут входить: издатель, главный редактор, заместитель главного редактора, члены редакционной коллегии, авторы и специалисты, компетентные в рассматриваемых вопросах. Проводится расследование, результаты которого доводятся всем заинтересованным лицам. При необходимости и в соответствии с законодательством материалы передаются в соответствующие государственные органы.

### Политика раскрытия и конфликты интересов/конкурирующих интересов

Неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, нельзя использовать в личных исследованиях без письменного согласия Автора.

Информация или идеи, полученные в ходе рецензирования и связанные с возможными преимуществами, должны сохраняться конфиденциальными и не использоваться с целью получения личной выгоды.

Редакторы и рецензенты не должны участвовать в рассмотрении рукописей в случае наличия конфликтов интересов вследствие конкурентных, совместных и других взаимодействий и отношений с любым из авторов, компаниями или другими организациями, связанными с представленной работой.

### Политики журнала в отношении обмена данными и воспроизведимости

Статьи из журнала (метаданные статей) размещаются в открытом доступе на сайте журнала и на сайтах различных систем цитирования (баз данных). Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»). Эта лицензия позволяет другим распространять, редактировать, поправлять и брать за основу произведение авторов, даже коммерчески, до тех пор, пока они указывают ваше авторство. Лицензия рекомендована для максимального распространения и использования лицензированных материалов.

Политика журнала в отношении обмена данными и воспроизведимости в конечном итоге способствует более «открытой» науке, а открытость научной информации есть гарант исследований и инноваций высокого качества.

### Этический надзор за опубликованными материалами

Издатель и главный редактор должны работать над защитой репутации опубликованных материалов путем изучения и оценки заявленных или предполагаемых нарушений (исследований, публикаций, рецензий и редакторской деятельности) совместно с научным сообществом.

Это включает в себя взаимодействие с автором рукописи или тщательное рассмотрение соответствующей жалобы или высказанных претензий. Для выявления таких нарушений, как плагиат, редактор должен пользоваться соответствующими лицензионными системами.

Главный редактор, получивший убедительное свидетельство нарушения, должен сообщить об этом издателю, членам редакции, организуя немедленное уведомление автора о необходимости внесения поправок или отзыва публикации, в зависимости от ситуации.

### Замещивания и плагиат

Редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы [Антиплагиат](#). В случае обнаружения многочисленных замещений редакция действует в соответствии с правилами [COPE](#).

### Интеллектуальная собственность

Редакторы должны внимательно относиться к вопросам, касающимся интеллектуальной собственности, и взаимодействовать с издателем при урегулировании случаев возможных нарушений законов и соглашений об охране интеллектуальной собственности.

Редакторы, кроме применения инструментов обнаружения плагиата, могут также:

- поддерживать авторов, чье авторское право было нарушено, или тех, кто стал жертвой плагиата;
- быть готовыми к совместной работе с издателем по защите авторских прав и к преследованию нарушителей (например, путем подачи запросов для отзыва статей или удаления материалов с веб-сайтов).

### Обсуждение работ, опубликованных в журнале. Исправления после публикаций

Редакторы должны быть открытыми для исследований, которые оспаривают предыдущие работы, опубликованные в журнале; поощрять и с готовностью рассматривать обоснованную критику работ, публикуемых в их журнале.

Авторы критикуемых материалов должны иметь возможность ответить на критику. Работы, сообщающие только об отрицательных результатах, также могут публиковаться.

#### **Политика размещения препринтов и постпринтов**

В процессе подачи статьи автору необходимо подтвердить, что статья не была опубликована или не была принята к публикации в другом научном журнале. При ссылке на опубликованную в журнале «Нанотехнологии в строительстве» статью издательство просит размещать ссылку (полный URL материала) на официальный сайт журнала.

К рассмотрению допускаются статьи, размещенные ранее авторами на личных или публичных сайтах, не относящихся к другим издательствам.

#### **О процедурах в случае злоупотреблений (нарушений)**

Издатель, главный редактор, каждый сотрудник редакции, член редакционной коллегии, автор, рецензент и читатель обязаны соблюдать этику научных публикаций в журнале действующих законов, правил или положений и обязуются сообщать о любых известных у случаях уже совершенного или потенциального злоупотребления (нарушения).

Редакцией журнала незамедлительно проводится расследование по всем сообщениям о злоупотреблениях (нарушениях) и, если информация подтверждается, принимаются меры по устраниению злоупотреблений (нарушений). Если это требуется в соответствии с законодательством, материалы передаются в соответствующие государственные органы.

На все претензии авторов редакция предоставляет развернутые и обоснованные ответы, прилагая все усилия для разрешения конфликтных ситуаций.



## AUTHOR GUIDELINES

### Admission of articles

#### The authors submit to the editors:

- electronic manuscript by e-mail: info@nanobuild.ru;
- accompanying letter (the editors send the sample of the letter to the authors on demand).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0); agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition ([www.nanobuild.ru](http://www.nanobuild.ru)), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) are available here <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

#### When submitting articles to the journal, it is presumed that:

- the work has not been previously published in any other journal;
- the article is not under consideration in any other journal;
- all co-authors consent to the publication of the article;
- there is implicit or explicit consent of the organization in which the study was conducted.

#### Information about the conflict of interest

The article should exclude any actual or potential conflict of interest. If there is no conflict of interest, you should write that «the author declares no conflict of interest.»

**When submitting a manuscript to the journal, authors should ensure** that the content of the paper corresponds the topic of the journal; the structure and the format of the paper meet the editorial requirements; all citations are properly formatted and the source of tables and figures are shown (unless otherwise indicated, it is assumed that the tables and figures created by the author).

#### Basic the sections of the journal:

- construction material science;
- the study of the properties of nanomaterials;
- the results of the specialists' and scientists' researches;
- manufacturing technology for building materials and products;
- international scientific and technical cooperation;
- overview of inventions in the field of nanotechnology;
- development of new materials;
- rational use of natural sources;
- efficient use of recycled resources;
- the application of nanotechnology and nanomaterials;
- system solutions for technological problems;
- in related sectors;
- forums, exhibitions, conferences and events in the area of construction and nanoindustry.

**These are the topics of the papers published in the journal:** creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; cement and other binders with mineral and organic additives; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; modification of building materials with nanofibers; disperse composite materials with nanocoating; formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering; technologies aimed at studying nanomaterial properties; the systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

**The journal can also publish:** original article, review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.

## The structure of the paper

### IN ENGLISH

NAME OF THE SECTION (In English)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.) (In English)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

**Title** (In English)

**Authors' first name and last name** (In English)

place of employment of each author, city, country (In English)

(name of institution (organization) at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.)

\*Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxxxx

ORCID author:

first name and last name – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

**Abstract:** the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In English):

**Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion... Conclusion...**

**Keywords:** (In English)

**Acknowledgments:** (if available) (In English)

**For citation:** (In English)

#### Example.

**For citation:** Sinitzin D.A., Shayakhmetov U.Sh., Rakhimova O.N., Khalikov R.M., Nedoseko I.V. Nanostructured foam ceramics for building purposes: production technology and applications. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

**Text of the paper:** (In English, number of words 3000–6000)

- INTRODUCTION
- METHODS AND MATERIALS
- RESULTS
- DISCUSSION
- CONCLUSIONS

**References** (In English) (Vancouver Style)

**Information about the author (authors)** (In English)

- first name, last name (full);
- academic degree;
- name of institution (organization) and its department at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.;
- address of the institution (organization), its department at which the author works or studies (city and country);
- authors' e-mail address;
- Open Researcher and Contributor ID (ORCID) (if available).

E-mail address is given without word "e-mail" and is not followed by dot. ORCID is given as an electronic address in Internet and is not followed by dot. Name of institution (organization), its address, e-mail address and ORCID of the author are separated with a comma.

The editors can give additional information about the author: position, honorary title, membership in organizations, etc.

**Example.**

**Zhanna V. Pisarenko** – Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Saint-Petersburg State University, Economic Faculty, Department of Risk Management and Insurance, Saint-Petersburg, Russia,  
z.pisarenko@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

**Contribution of the authors** (In English):

author's last name and initials; author's personal contribution in article writing is briefly described (concept, collection of materials, analytical work, article writing, scientific editing of the text, all authors made equal contribution to preparation of the article, etc.).

**Example.**

**Marina S. Morozova** – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

**Elena V. Bokova** – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

**The authors declare no conflicts of interests.**

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.

**IN RUSSIAN**

**NAME OF THE SECTION** (In Russian)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.) (In Russian)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

**Title** (In Russian)

**Authors' first name and last name** (In Russian)

place of employment of each author, city, country (In Russian)

(name of institution (organization) at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.)

\* Corresponding author: e-mail:xxxxxxxxxx

ORCID author:

first name and last name (In Russian) - <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

**Abstract:** the source of information, which is independent on the paper and which allows

Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In Russian):

**Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion... Conclusion...**

**Keywords:** (In Russian)

**Acknowledgments:** (if available) (In Russian)

**For citation:** (In Russian)

**Example.**

**Для цитирования:** Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 4. С. 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

**Text of the paper:** (In Russian, number of words 3000–6000)

- INTRODUCTION
- METHODS AND MATERIALS
- RESULTS
- DISCUSSION
- CONCLUSIONS

**References** (In Russian) (Vancouver Style)

**Information about the author (authors)** (In Russian)

- first name, last name (full);
- academic degree;
- name of institution (organization) and its department at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.;
- address of the institution (organization), its department at which the author works or studies (city and country);
- authors' e-mail address;
- Open Researcher and Contributor ID (ORCID) (if available).

E-mail address is given without word "e-mail" and is not followed by dot. ORCID is given as an electronic address in Internet and is not followed by dot. Name of institution (organization), its address, e-mail address and ORCID of the author are separated with a comma.

The editors can give additional information about the author: position, honorary title, membership in organizations, etc.

**Example.**

**Писаренко Жанна Викторовна** – д-р экон. наук, доцент кафедры управления рисками и страхования экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия, z.pisarenko@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

**Contribution of the authors** (In Russian):

author's last name and initials; author's personal contribution in article writing is briefly described (concept, collection of materials, analytical work, article writing, scientific editing of the text, all authors made equal contribution to preparation of the article, etc.).

**Пример.**

**Морозова М.С.** – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

**Бокова Е.В.** – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

**The authors declare no conflicts of interests.** (In Russian)

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.  
(In Russian)

## Manuscript text

### File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in .rtf format.

### Text layout

- Use the font Times New Roman, font size – 14 pt., and 1.5 line spacing;
- Do not use an underscore in the text (for subtitles – use bold, to highlight text – use italics);
- Non-Russian languages titles (journals, organizations, etc.) should be left in the original, enclosed in quotes.

### Abbreviations

All abbreviations should be defined when first used. If the article contains a large number of abbreviations, a list deciphering each of them can be included before the text of the article

### Tables and Figures

All tables and figures must be numbered and identified, they should be a reference in the text. The tables should not contain empty columns. Figures should be of good quality, suitable for printing. Figures should be submitted together with the article, with each figure submitted as an individual file.

One way to check the quality of the image, is to increase its size using any image manipulation software. A high quality image is not blurred or distorted when enlarged.

### Footnotes

If necessary, use footnotes with continuous numbering (Arabic numerals) throughout the document. Footnotes can be quotes from the works mentioned in the text, for more information.

### Citations and bibliography

The journal requires the use of the Vancouver citation style (a reference in the text in square brackets, full bibliographic description of the source in the bibliography in the order mentioned in the text of the article).

### References

The list of references includes sources used in the text.

References accepted for publication but not yet published articles must be labeled with the words "in press"; authors should obtain written permission to refer to these documents and evidence that they are accepted for publication. Information from unpublished sources must be marked with the words "unpublished data / documents," the authors must also receive written confirmation of the use of such materials. The journal adopted the Vancouver style of reference design and citation.

### Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

1. Authors retain copyright of the work and provide the journal right of first publication of the work.
2. The authors retain the right to enter into certain contractual agreements relating to the non-exclusive distribution in the published version of the work here from (eg, post it to an institutional repository, the publication of the book), with reference to its original publication in this journal.
3. The authors have the right to post their work on the Internet (eg in the institute store or personal website) prior to and during the review process of its data log, as this may lead to a productive discussion and a large number of references to this work.

### Privacy Statement

Specified when registering the names and addresses will be used solely for technical purposes of a contact with the Author or reviewers (editors) when preparing the article for publication. Private data will not be shared with other individuals and organizations.



## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

### Прием статей

#### Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде по e-mail: [info@nanobuild.ru](mailto:info@nanobuild.ru);
- сопроводительное письмо (редакция высыпает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания ([www.nanobuild.ru](http://www.nanobuild.ru)), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) сммотрите здесь <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>.

#### Представление статьи в журнал подразумевает, что:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие – неявное или явное – организации, в которой исследование было проведено.

#### Информация о конфликте интересов

В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

**При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться**, что содержание статьи соответствует тематике журнала; структура статьи и оформление соответствуют требованиям редакции; все цитирования оформлены корректно, указаны источники для таблиц и рисунков (если не указано иное, предполагается, что таблицы и рисунки созданы автором).

#### Основные разделы журнала:

- строительное материаловедение;
- исследование свойств наноматериалов;
- результаты исследований ученых и специалистов;
- технологии производства строительных материалов и изделий;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- обзор изобретений в области наноиндустрии
- разработка новых материалов;
- рациональное использование природных ресурсов;
- эффективное использование вторичного сырья;
- применение нанотехнологий и наноматериалов;
- системные решения технологических проблем;
- в смежных отраслях;
- форумы, выставки, конференции, мероприятия строительной отрасли и наноиндустрии.

**В журнале публикуются работы по следующим темам:** создание новых функциональных материалов; разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем; проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах; цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками; диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем; технологии исследования свойств наноматериалов; модифицирование строительных материалов нановолокнами; дисперсные композиционные материалы с нанопокрытием; формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением; системы преподавания основ нанотехнологий; технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.). Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

Журнал принимает к публикации: научные статьи, обзорные статьи, редакционные статьи, дискуссионные статьи, редакторские заметки, рецензии на книгу, рецензии на статью и т. п.

## Структура статьи (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021)

### НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

НАЗВАНИЕ РУБРИКИ ИЛИ РАЗДЕЛА ЖУРНАЛА (In English)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, paper reviews, etc.) (In English)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

**Заглавие статьи (In English)**

**Имя Отчество** (при наличии) **Фамилия автора** (-ов) (In English)

обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (In English)

(наименование организации (учреждения), где работает или учится автор указывается без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т.п.)

\* Corresponding author: e-mail:xxxxxxxxxx

ORCID автора (-ов):

Фамилия и инициалы – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

**Abstract:** независимый от статьи источник информации, который позволяет ученым и специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (**Introduction, Methods and Materials, Results, Discussion, Conclusion**), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке):

**Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion...Conclusion...**

**Keywords:** (In English)

**Acknowledgments:** (при наличии) (In English)

**For citation:** (In English)

#### *Пример.*

**For citation:** Sinitsin D.A., Shayakhmetov U.Sh., Rakhimova O.N., Khalikov R.M., Nedoseko I.V. Nanostructured foam ceramics for building purposes. *Nanotechnologies in Construction*. 2021;13(4):213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

**Статья** ((In English) объем – 3–6 тыс. слов):

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSION**

**References** (In English) (согласно Vancouver Style)

**Information about the author (authors)** (In English)

- имя, отчество, фамилия автора (полностью);
- ученое звание;
- ученая степень;
- наименование организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.);
- адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город и страна);

- электронный адрес автора (e-mail);
- открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии). Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Наименование организации (учреждения), ее адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.
- Редакция издания может расширить дополнительные сведения об авторе: указать его должность, почетные звания, членство в организациях и т. п.

**Пример.**

**Zhanna V. Pisarenko** – Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Saint-Petersburg State University, Economic Faculty, Department of Risk Management and Insurance, Saint-Petersburg, Russia,  
z.pisarenko@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

**Contribution of the authors** (In English):

фамилия и инициалы автора; в краткой форме описывается личный вклад автора в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста, все авторы сделали эквивалентный вклад (равный вклад) в подготовку публикации и т. д.).

**Пример.**

**Marina S. Morozova** – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.  
**Elena V. Bokova** – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

**The authors declare no conflicts of interests.**

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.

**НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ**

**НАЗВАНИЕ РУБРИКИ ИЛИ РАЗДЕЛА ЖУРНАЛА** (на русском языке)

Научная статья (обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью и т. п.) (на русском языке)

УДК XXX

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

**Заглавие статьи** (на русском языке)

**Имя Отчество** (при наличии) **Фамилия автора** (-ов) (на русском языке)

обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке)

(наименование организации (учреждения), где работает или учится автор указывается без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.)

\* Автор, ответственный за переписку: e-mail: xxxxxxxxxxxx

ORCID автора (-ов):

Фамилия и инициалы – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

**Аннотация (или Резюме):** независимый от статьи источник информации, который позволяет ученым и специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (введение, методы и материалы, результаты, обсуждение, заключение (выводы)), компактными – укладываются в 200–250 слов) (на русском языке):

**Аннотация (или Резюме): Введение... Методы и материалы... Результаты... Обсуждение... Заключение (выводы)...**

**Ключевые слова:** (на русском языке)

**Благодарности:** (при наличии) (на русском языке)

**Для цитирования:** (на русском языке)

**Пример.**

**Для цитирования:** Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 4. С. 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© авторы, 2021

**Статья** (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов):

- **Введение**
- **Методы и материалы**
- **Результаты**
- **Обсуждение**
- **Заключение (выводы)**

**Список источников** (на языке оригинала статьи – русском или английском)

**Информация об авторе (-ах)** (на русском языке)

- фамилия имя отчество автора (полностью);
- ученое звание;
- ученая степень;
- наименование организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.);
- адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город и страна);
- электронный адрес автора (e-mail); – открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии).

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Наименование организации (учреждения), ее адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Редакция издания может расширить дополнительные сведения об авторе: указать его должность, почетные звания, членство в организациях и т. п.

**Пример.**

**Писаренко Жанна Викторовна** – д-р экон. наук, доцент кафедры управления рисками и страхования экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург, Россия, z.pisarenko@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

**Вклад авторов** (на русском языке):

- фамилия инициалы автора;
- в краткой форме описывается личный вклад автора в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста, все авторы сделали эквивалентный вклад (равный вклад) в подготовку публикации и т. д.).

**Пример.**

**Морозова М.С.** – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

**Бокова Е.В.** – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Статья поступила в редакцию XX.XX.202X; одобрена после рецензирования XX.XX.202X; принята к публикации XX.XX.202X.

## Оформление текста рукописи

### Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .rtf.

### Оформление

- используйте шрифт 14 Times New Roman и интервал 1,5 строки;
- не используйте подчеркивание внутри текста (для подзаголовков используйте полужирное начертание, для выделения в тексте – курсив);
- иностранные названия (журналов, организаций и т.д.) следует оставлять в оригинале, заключать в кавычки.

### Аббревиатуры

Все аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если аббревиатур много, можно сделать список с расшифровкой каждой из них перед текстом статьи.

### Таблицы и рисунки

Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и названы, на них должна быть ссылка в тексте статьи. В таблицах не должно быть пустых граф. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Прикладываются к статье отдельными файлами.

Чтобы проверить качество изображения, можно увеличить его. Хорошее изображение не размывается при увеличении.

### Сноски

При необходимости используются сноски со сквозной нумерацией (арабские цифры) по всему документу. В сносках могут быть цитаты из работ, которые упоминаются в тексте, дополнительная информация.

### Оформление цитат и списка литературы

В журнале принят Ванкуверский стиль цитирования (ссылка в тексте в квадратных скобках, полное библиографическое описание источника в списке литературы в порядке упоминания в тексте статьи).

### Список источников

В список литературы включаются источники, используемые в тексте статьи. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

Оформление ссылок на источники, библиографических ссылок осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021.

## Авторские права

Авторы, публикующие в журнале, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.

2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договоренности, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.

3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и большему количеству ссылок на данную работу.

## Приватность

Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных этим журналом, и не будут использованы для каких-либо других целей или представлены другим лицам и организациям.