

IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- Nanostructured foam ceramics for building purposes: production technology and applications
- Evaluation of the possibility to use powders of polymineral silica-containing sands as a hydrophobizing coating
- Compatibilization of polymer mixtures during processing of waste products from thermoplastics
- Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies
- Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения
- Оценка возможности использования порошков полиминеральных кремнеземсодержащих песков в качестве гидрофобизирующего покрытия
- Компатибилизация смесей полимеров при переработке отходов изделий из термопластов
- Обзор изобретений ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий

www.nanobuild.ru

e-mail: 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

ISSN 2075-8545 (online)

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

«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. EVSTIGNEEVA, 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, Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, 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 «NanoStroitel'stvo», 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., Belarussian 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. Grebenshchikov 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: l.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 № 4 (Vol. 13) is 19.08.2021

ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



**INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING**



**WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)**

CONTENTS

PUBLISHER INFORMATION	210
APPLICATION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN BUILDING	
<i>Sinitsin D.A., Shayakhmetov U.Sh., Rakhimova O.N., Khalikov R.M., Nedoseko I.V.</i> Nanostructured foam ceramics for building purposes: production technology and applications	213
MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
<i>Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Akulova M.V., Frolova M.A., Shamanina A.V.</i> Evaluation of the possibility to use powders of polymineral silica-containing sands as a hydrophobizing coating.....	222
<i>Fomina N.N., Khozin V.G.</i> Compatibilization of polymer mixtures during processing of waste products from thermoplastics.....	229
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	237
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
<i>Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Nguyen C.T., Muminova S.R.</i> Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part IV	242
SYSTEM SOLUTIONS FOR TECHNOLOGICAL PROBLEMS	
<i>Muravyova E.A., Kochenkov A.V.</i> Development of an intelligent control system for the process of preparation and water transfer in the cooling circuit of an ammonia station.....	252
SAFETY OF BUILDINGS AND FACILITIES	
<i>Gura D.A., Bespyatchuk D.A., Samarin S.V., Kiryunikova N.M., Lesovaya E.D.</i> Technology of three-dimensional laser scanning as a tool to providesafety for sport facilities	259
PUBLISHING ETHICS	264
AUTHOR GUIDELINES.....	268

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 наукоемких 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, высокоэффективном 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, Российская инженерная 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, Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, 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. Мигдаль-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 «Нanomатериалы 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

ШУ ЛИ ДА, 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 № 4, Том 13, 2021: 19.08.2021 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	210
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
<i>Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В.</i> Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения	213
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	
<i>Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Акулова М.В., Фролова М.А., Шаманина А.В.</i> Оценка возможности использования порошков полиминеральных кремнеземсодержащих песков в качестве гидрофобизирующего покрытия	222
<i>Фомина Н.Н., Хозин В.Г.</i> Компатибилизация смесей полимеров при переработке отходов изделий из термопластов.....	229
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	237
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Нгуен К.Т., Муминова С.Р.</i> Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть IV	242
СИСТЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ	
<i>Муравьева Е.А., Коченков А.В.</i> Разработка интеллектуальной системы управления процессом подготовки и перекачки воды в контуре охлаждения аммиачной станции	252
БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
<i>Гура Д.А., Беспятчук Д.А., Самарин С.В., Кирюникова Н.М., Лесовая Э.Д.</i> Технология трехмерного лазерного сканирования как средство обеспечения безопасности объектов спортивной инфраструктуры	259
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	264
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ.....	268



Nanostructured foam ceramics for building purposes: production technology and applications

D.A. Sinitsin¹ , U.Sh. Shayakhmetov², O.N. Rakhimova³, R.M. Khalikov^{1*} , I.V. Nedoseko¹

¹ Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

² Bashkir State University, Ufa, Russia

³ Orenburg State University, Kumertau Branch, Kumertau, Russia

* **Corresponding author:** e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

ABSTRACT: Introduction. Foam-ceramic heat-insulating building materials have the greatest stability of the demanded technological characteristics due to their unique physical and technical properties. Increasing the large-capacity production of nanostructured foam-ceramic products and developing educational programs for advanced training of process engineers remains an urgent task. **Methods and materials.** A technological method for manufacturing nanostructured foam ceramics is the method of direct foaming: ceramic foams are created by involving atmospheric air in a suspension. Further, the consolidated foams are carefully dried and sintered for 12 hours by heat treatment (950–1100°C) to obtain sufficiently high-strength foam ceramics for building purposes. The most important raw materials for the production of construction foam ceramics are clays, diatomites, siliceous minerals, zeolite rocks, etc., as well as ceramic and slag waste, and the like. **Results.** The technology of production of foam-ceramic materials for building purposes based on clay raw materials has been developed. As a result of physical and chemical transformations in the production cycle, including firing, uniformly closed micropores of foam ceramics with a diameter of up to 120 microns are formed, and the wall thickness varies from 1.8 microns to 6.3 microns. The compressive strength of the obtained nanostructured construction foam-ceramic products with an average density of 450–850 kg/m³ is 3–8 MPa, thermal conductivity is 0.12–0.15 W / (m•°C), frost resistance is at least 50 cycles. **Discussion.** In large-scale technological production, bubbles mass (three-phase foam) can be obtained by mixing nanostructured foam with a highly dispersed mineral powder. By controlled sintering, a dried foam mass is produced with the required technological characteristics due to the crystal bond of a solid-phase mullite based on cluster microparticles with dimensions of 15–200 nm, and the walls of micropores and nodal joints of nanostructured foam ceramics provide high mechanical strength, hydrophobicity and chemical resistance. **Conclusions.** Nanostructured foam ceramics for building purposes is sufficiently moisture-resistant, since it has a microstructure of closed ultramicropores; it is resistant to chemical and physical effects and therefore is the optimal thermal insulation material.

KEY WORDS: nanostructured foam ceramics, manufacturing technology, foam-ceramic building materials, educational programs.

FOR CITATION: Sinitsin 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. Available from: doi:10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221.

INTRODUCTION

When construction residential buildings, industrial modern buildings, one of the important aspects in the selection of materials is the increased heat and sound insulation characteristics; therefore, building materials that simultaneously combine lightness, low thermal conductivity with sufficient structural strength should be considered as the most promising for the energy-saving construction industry. Currently, these requirements

are most fully met by highly porous silicate foams: foam ceramics, cellular concretes, foam glass, foam concrete based on porous aggregates. Due to the unique physical and technical characteristics, foam-ceramic heat-insulating building materials and products have the greatest stability of technological parameters: bio- and corrosion-resistant, durable, fireproof and the like [1–4]. Foam ceramics in granules as an innovative insulation can be used in direct contact with cement-containing plasters, screeds etc. The solution of the problem of increasing

the large-capacity production of nanostructured foam-ceramic building materials with the production of a highly porous microstructure and the development of educational programs for advanced training of technological engineers is an urgent task.

The purpose of this article is to consider the features of the technology for obtaining nanoporous ceramics for building purposes.

METHODS AND MATERIALS

Foam ceramics is a sintered solid-phase energy-saving building material with low thermal conductivity ($0.05\text{--}0.15\text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$) with closed (insulated) micropores with diameters from 7 nm to 8 microns. The necessary microstructure of foam-ceramic products is obtained by introducing various pore-forming agents, burn-out additives, porous fillers, etc. into the clay suspension [5–7]. A practical method of manufacturing nanostructured foam ceramics is a method of direct foaming: ceramic foams are created by including air in a suspension or liquid-phase medium. The porosity and size distribution of closed cellular micropores can be controlled by changing the viscosity of the ceramic foam and the foaming technology. Further, in the technological production, the consolidated foams are carefully dried and sintered by heat treatment ($950\text{--}1100\text{°C}$) for 10–12 hours to obtain high-strength foam ceramics for building purposes.

The firing rate of foam ceramic products, which results in a durable and water-resistant mullite, should be controlled to avoid the appearance of defective cracks. Foaming of raw ceramic suspensions includes gas dispersion in the form of micro-bubbles: inclusion of atmospheric air by mechanical foaming (or injection of a gas stream) or gas release *in situ* [8, 9]. In the case of gas release *in situ*, the foaming agents disintegrate under the action of heat or a chemical reaction with the formation of gas micropores inside the ceramic nanosuspension. To stabilize the gas nanobubbles formed in the suspension, the surface tension of the gas-liquid interface must be reduced, so in most cases, surfactants are added.

Nanostructured foam ceramics for construction purposes are also made by the replica method [10–12] (duplication): a three-dimensional mesh precursor based on polyurethane foam or other suitable macromolecules with open pores is immersed in a ceramic suspension. Then the excess suspension is removed, the organic components are pyrolyzed, then the porous nanoceramics is sintered to achieve the necessary mechanical strength. Porous building ceramics are obtained at a fairly low cost on the basis of available local clay raw materials, and for the formation of pores, sawdust, peat, straw, polystyrene foam granules, carbon waste, fuel slag, etc. are most often used as burnout additives.

Ceramic foam is a metastable dispersion, so it is important to “fix” the macrostructure of the foam in order to preserve the cellular nanostructure during the further heating procedure. Low-temperature foaming [13], as well as modified sol-gel methods are used to consolidate ceramic foams without any other nanoadditives. The microstructure of nanostructured foam ceramics is a solid-phase building material filled with micropores of gaseous air. A sharp decrease in bending strength and an increase in the water permeability of foam ceramics for building purposes is interpreted by an increase in the number of open micropores.

The main raw materials for the production of building foam ceramics are mineral raw materials – clays, diatomites, siliceous minerals, alkaline geopolymers, zeolite rocks and the like, as well as slag waste, river silt, ceramic waste, shale, etc. As a result of physical and chemical transformations in the production process, including firing, the necessary number of evenly closed micropores is formed, rhythmically distributed throughout the entire volume of the building material.

To date, the possibility of technological production of innovative foam-ceramic building products based on low-melting clays, which allow forming a stable foam structure, intensifying the process of defect-free drying and subsequent sintering, has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. For multi-tonnage production and use of nanostructured foam ceramics for construction purposes, it is necessary to take into account the influence of the component composition of foam ceramic masses on the physical and technical properties of products [14], as well as the optimal parameters of the preparation of raw materials, porization of the ceramic mass by foaming, which is implemented at existing enterprises, drying and technological firing.

The technology of production of nanostructured construction foam ceramics at a relatively low cost includes the preparation of clay raw materials, intensive mixing with dispersing components (Fig. 1) and foaming agents.

A more uniform volume distribution of micropores in the foam-ceramic dispersion after the addition of foaming agents (frothers) contributes to the formation of a cellular ultramicrostructure of construction nanostructured foam ceramics. The preferential use of cheap local raw materials and artificial waste [15, 16] in the technological cycle can significantly reduce the cost of nanopenoceramic building materials.

When manufacturing construction foam ceramics with an average density below 1000 kg/m^3 using the traditional method of burn-out additives, many problems arise in the technological cycle. The technology of foam ceramics is being developed by foaming a clay suspension stabilized with sodium pyrophosphate with a high-speed mixer of a slip mass. Enhanced mechanical activation [17]

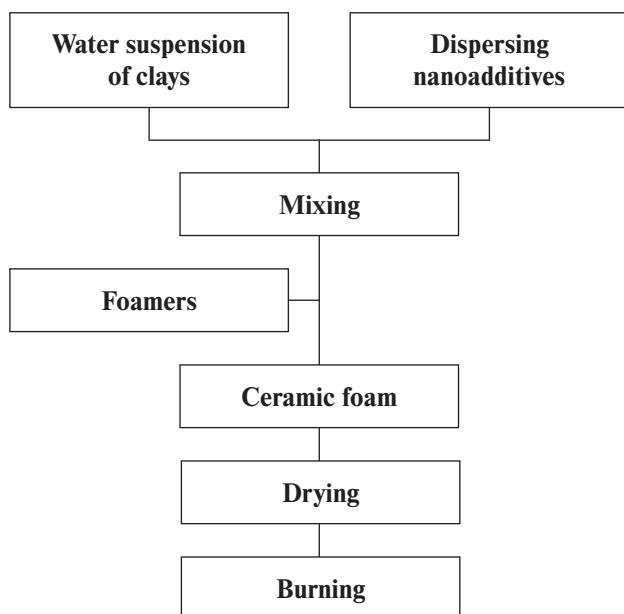


Fig. 1. Technological scheme of traditional production of building nanostructured foam ceramics

of aqueous clay suspensions in the presence of diluting nanoadditives-electrolytes allows achieving homogeneity of ceramic foam. The use of electrolyte additives, for example, aqueous solutions of sodium silicates, significantly reduces the viscosity of the clay slip, thereby optimizing the porization of the ceramic mass.

The introduction of a highly dispersed mineral powder into the ceramic foam, which is wetted with the liquid phase, leads to the formation of a three-phase foam mass during mixing. Then the resulting ceramic foam is formed, dried and subjected to heat treatment; when the ceramic foam is dried, liquid-phase water evaporates and a nanostructured foam ceramic is formed [18]. For hardening of foam-ceramic building materials, adjustable firing is used, during which decomposition (transformation of dispersing nanoadditives) and sintering occur. It should be noted that in real conditions of large-capacity production, obtaining nanoporous ceramics, which simultaneously combines lightness, thermal insulation properties and high strength, is fraught with difficulties.

Along with the average density of nanostructured foam ceramics, the determination of the compressive strength, thermal conductivity and water absorption are the determining parameters of highly porous ceramics for construction purposes. In nanostructured foam ceramics, heat transfer is determined by the thermal conductivity, which consists of the thermal conductivity of a ceramic building material, as well as by heat transfer in micropores [19]. It should be noted that the thermal conductivity of porous ceramics (aerogel) is influenced by the characteristics of the air filling the pores; humidity and the diameter of the micropores.

Among the innovative building materials, there is an without firing aluminosilicate foam ceramic, which has a foam-cell nanostructure (density 230–550 kg/m³), which gives it some advantages compared to other analogues in terms of water resistance and operating temperature up to 1200°C. The author [20] has developed an energy- and resource-saving non-burning technology for manufacturing foam-ceramic materials, the advantages of which are lightness, low thermal conductivity, sufficient constructional strength.

Micrographs of nanostructured foam ceramics were obtained using a JEOL JSM-6610LV scanning electron microscope [21] by scanning surface layers with a resolution of 3–4 nm. The ITP-MG4 “100” device was used to determine the thermal conductivity coefficient of foam-ceramic samples. The principle of operation of the ITP-MG4 device is based on the creation of a stationary heat flow passing through a foam-ceramic sample, measuring the thickness of the sample, the density of the heat flow and temperature. The range of thermal conductivity measurement by the thermal probe method was 0.03–1 W/(m•°C), the limit of the relative error in determining the thermal conductivity coefficient was ±7.

RESULTS

Figure 2 shows the microstructure of the cut surface of a sample of nanostructured foam ceramics for construction purposes, which were obtained by foaming low-melting clay. The micrograph clearly shows isolated micropores of foam ceramics with a diameter of up to 120 microns, and the wall thickness varies from 1.8 microns to 6.3 microns.

Refractory foam ceramics with an operating temperature of at least 1580°C are often used as the lining of high-temperature furnaces for firing porous building nanoceramics. The production of glass-crystal nanostructured foam ceramics for construction purposes is based on the use of 50–88 wt.% of pyrophyllite [22] (Kul-Yurt-Tau deposits), 11–49 wt.% of low-melting clays (Alekseevskoye deposit of the Republic of Bashkortostan) and gas-forming nanoadditives – 0.5–1 wt.% titanium carbide.

The manufacture line for the production of heat-insulating building materials from glass-crystalline foam ceramics [23] is organized by the method of foaming during firing of an amorphous-crystalline matrix with the formation of a cellular microstructure of inorganic foam, in which almost all ultramicropores are isolated from each other. The porous structure of foam ceramics was created using an energy-efficient technology of low-temperature 120–150°C foaming of porous ceramic masses during gas release.

A comparative analysis of the main types of porous heat-resistant materials was carried out in [24] on: high temperature struggle, refractoriness, heat resistance.

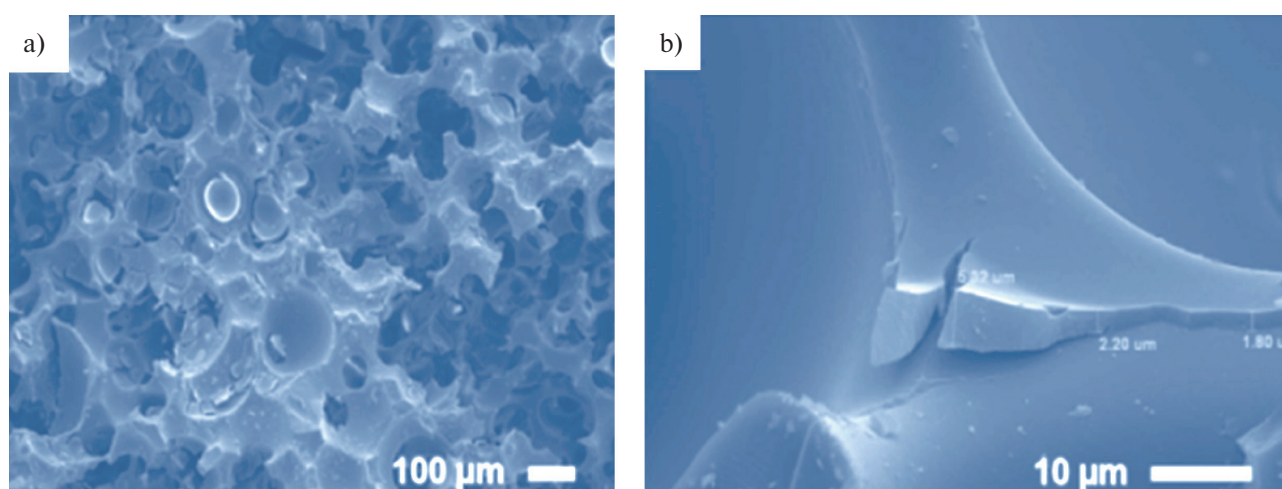


Fig. 2. Micrograph of the surface of the foam ceramic saw (a); with an increase for measuring the thickness of solid-phase walls (b)

A comparison of various compositions with the highest thermal stability and fire resistance made it possible to select objects based on aluminum oxides and silicon oxide that are most suitable for creating appropriate porous heat-resistant inorganic composite materials.

The main technological characteristics of highly porous foam ceramics are porosity, pore size distribution, and specific surface area. Glass-crystal foam ceramics for construction purposes had the following physical and technical characteristics: compressive strength—at least 3.5 MPa; heat resistance (200°C) at least 50 cycles; use temperature from –45 to +60°C; density 350–600 kg/m³; low thermal conductivity (0.12–0.14 W / (m • °C)). A non-ignition technology for the production of nanopenoceramic materials for construction purposes using phosphate binders [25] based on clay local raw materials has been developed. The compressive strength of the obtained nanostructured construction products with an average density of 450–850 kg/m³ is 3–8 MPa, thermal conductivity is 0.12–0.15 W/(m • °C), frost resistance is at least 50 cycles.

In 2014–2015, the workers of the Department of “Building Constructions” of the Architectural and Building Institute of the Ufa State Petroleum Technical University, together with the Bashkir State University, completed the demanded work on the project of the Fund for Infrastructure and Educational Programs of “RUSNANO”. A professional development program was developed in the field of advance and production of highly porous nanostructured foam ceramics for building purposes [26]. The creation of educational programs for advanced training of specialists in the field of using nanostructured foam-ceramic products for construction purposes is designed to form the professional competencies of process engineers [27, 28].

The process of forming the competencies of technologists of production and application of nanopenoceramics

at different stages of training is correctly described within the framework of the fractal concept of structure formation and hardening of accepted composite building materials [29]. Nodes are allocated in the hierarchical structure of educational programs for advanced training, and the branched fractal university system acts as a central link of advanced training of technologists of the production of nanostructured foam ceramics.

For the implementation of national projects of the Russian Federation, an educational program for retraining and advanced training of engineering specialists in the field of production of nanostructured foam-ceramic products for building purposes has been created. The educational program is designed to provide the regional construction industry with in-demand technologists for the production and use of nanopenoceramic products that replace the import of foreign analogues.

The program of retraining and advanced training of engineers of the production of nanostructured foam-ceramic building products contains three professional modules and one interdisciplinary course that is mandatory for all target groups. The curriculum for advanced training and retraining of qualifications provides for the implementation of the final certification work with testing in production conditions. The educational program (table 1) it is intended to provide the personnel potential of competitive, high-tech, domestic production of products made of highly porous nanostructured multifunctional building foam ceramics.

DISCUSSION

Among the innovative building thermal insulation materials, it is necessary to separately highlight the non-fired aluminosilicate nanostructured foam ceramics. This sintered innovative material based on available clays has a

Table 1

Educational results of the advanced training program for technologists in the field of development and production of highly porous nanostructured foam ceramics for building purposes

Formulation of educational outcome	Structural unit
Types of foam ceramics. Technology for the production of nanostructured foam ceramics. Equipment. Occupational health and safety.	Interdisciplinary course. Nanostructured foam ceramics for building purposes. Internship.
Advance of technology for the production of materials and products from nanostructured foam ceramics.	Methods for the advance of materials and products from nanostructured construction foam ceramics.
Recommendations for the use of materials and products from nanostructured building foam ceramics.	Physical and mechanical characteristics of nanostructured foamed ceramics for building purposes.
Preparation of technical specifications for the design of equipment, tools and devices provided by the technology.	Practice in a model situation and industrial approbation practice at the plant.
Control over the quality of the technological process for the production of building materials and products from nanostructured foam ceramics.	Quality control of the production process of large-capacity foam ceramics for building purposes.

foam-cellular nanostructure, which gives it some physical and mechanical advantages over other analogues. The ultramicrostructure of non-fired construction foam ceramics consists of air microbubbles, which are surrounded by thin shells of a glass-crystalline metastable framework of solid-phase mullite.

Physicochemical reactions [30] of the formation of a ceramic foam material occurs on the basis of liquid foams and highly dispersed mineral powders: the dispersion medium in them is a liquid-phase nanosuspension, and the dispersion phase is a gas in the form of microbubbles, which are separated from each other by films of an aqueous film. In large-scale technological production, foam mass (three-phase foam) can be obtained by mixing nanostructured foam with a highly dispersed mineral powder. In the production process, solid clay microparticles are distributed in liquid-phase films, and ultramicrobubbles are surrounded by two-phase shells.

Then comes the next stage of creating foam ceramics in construction – drying: the liquid phase evaporates from the foam mass, as a result of which a solid (two-phase) foam is formed. As a result of sintering, a dried foam mass with the required mechanical strength is obtained, due to the crystalline bond of solid-phase mullite, which forms a foam-cellular framework between the amorphous components of the foam ceramics. The silica aerogel has a stochastic fractal [31] nanostructure based on cluster microparticles 15–200 nm in size, aggregated by strong covalent bonds.

To make construction foam ceramics more durable, trivial firing is used, leading to pyrolysis (decomposition) of organic components, that is, liquid foam stabilizers. In the course of heat treatment, nanostructured foam ceramics are sintered while maintaining micropores. It should be noted that the ratio between the solid and

gas phases and the size of micropores in nanostructured foamed ceramics for building purposes can vary within wide limits.

Phosphate compositions, which are used as non-annealing binders [32] of porous ceramics, show the ability inherent in geopolymer inorganic [33] macromolecular nanostructures-when heated, they exhibit the property of plastic flow. During the heat treatment, the amorphous phase of colloidal phosphate nanocompositions moistens the surface of the mullite filler particles, thereby determining the adhesive characteristics. The heat transfer of nanostructured foam ceramics is caused by the thermal conductivity of solid-phase porous ceramics of the building material and gas permeability due to the multifractal diffusion [34] of the walls of micropores.

Therefore, it is possible to achieve the necessary technological characteristics when clay minerals are based on the industrial technology of nanostructured foam ceramics, by changing the ratio of phases (solid, liquid and gaseous) in the foam mass and regulating the phase composition. It should also be noted that the walls of micropores (Fig. 3) and the nodal joints of nanostructured foam ceramics are solid-phase and completely dense, and this provides high mechanical strength, hydrophobicity and chemical resistance.

Porous nanoceramics are characterized by relatively high compressive strength and low bending strength, good heat and sound insulation, air and vapor permeability, low water absorption compared to light concretes (however, waterproofing and a facing layer are recommended), high frost resistance, incombustibility, biostability, low nailability, environmental friendliness, average geometry accuracy and mechanical processing ability. For example, the developed nanostructured foam-ceramic kerpen [35] with a density of 300 kg/m³ has a frost resistance of

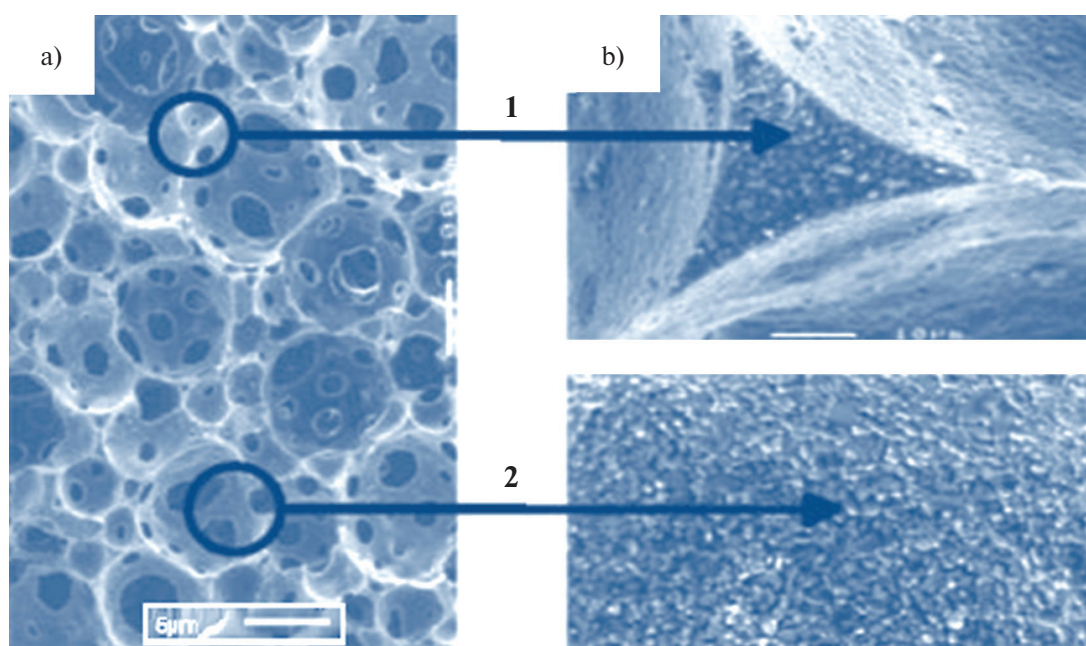


Fig. 3. Microstructure of porous nanostructured ceramics (a); with an increase in nodal joints (b)
(1 – nodal joints; 2 – walls)

more than 25 cycles, a compressive strength of 3–4 MPa, a thermal conductivity of 0.15–0.2 W / (m•°C).

Currently, nanostructured foam ceramics for building purposes are used as a facade finishing material, heat-protective wall panel, etc. The thermal conductivity of construction foam ceramics depends on its density, composition, type and size of pores and it increases sharply with increasing humidity. The vapor permeability of nanopenoceramics is not regulated by the current state standards and technical conditions; however, in some cases, it affects the durability of building structures: low permeability to water vapor of heat-insulating building materials can cause the formation of condensate.

The use of nanostructured foam ceramics in building provides the required heat and sound insulation, fire protection of interstory floors without increasing the load on the building's enclosing structures. One of the ways to eliminate the emerging disadvantages of porous ceramics – a decrease in strength and an increase in water absorption under uncontrolled conditions of large-scale production is liquid-phase sintering with the formation of a glaze layer on the surface of products (translates most of the open pores into closed ones). Due to the use of nano-additives that increase the corrosion resistance of multifunctional nanocomposite building materials [36], a glass-crystalline (partially amorphous) high-strength solid phase is formed during firing.

The technological flaw of a nanostructured foam-ceramic product for building purposes – fragility can be overcome by reinforcement. The production of wall and heat-insulating ceramic products without firing, despite

their high thermal protection properties, has not received proper distribution. The reason is the lack of a theoretical justification for the nano-porization of the ceramic mass, the developed technology and appropriate equipment, and competent personnel. The energy efficiency of buildings and structures within the framework of the concept of sustainable development becomes the main parameter determining the consumer value of a heated construction object. For the implementation of the tasks of national projects of Russia, the economic efficiency due to reducing the density of wall foam ceramics from 1600–1800 kg/m³ to 90–1100 kg/m³ of enclosing structures is characterized by the following figures according to various data:

- fuel consumption in the production of nanostructured foam ceramic products for building purposes can be reduced by 20%, and the material consumption of the production of highly porous foam ceramics is reduced by 1.5 times;
- due to innovative technologies, the energy costs for the construction of 1 m² of an external wall are reduced by 1.8 times;
- the heat transfer resistance of buildings and structures increases, depending on the thickness of enclosing structures adopted in the region, etc.

Evaluating the properties of nanostructured foam ceramics, we can expect that its use can be especially effective as a wall material in the construction of monolithic houses. At the same time, the efficiency of using foam-aluminum-silicate ceramic blocks in the walls of monolithic houses will primarily be provided by saving

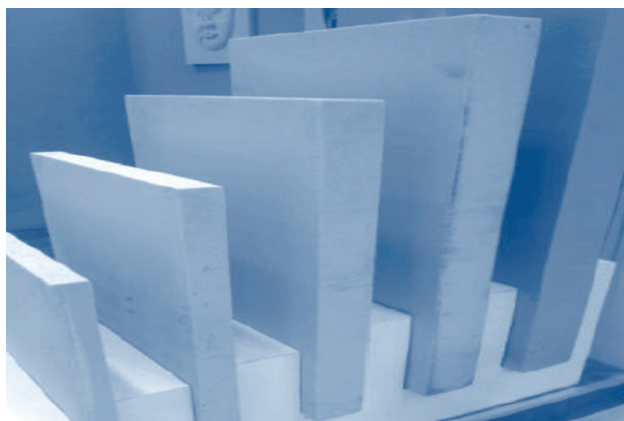


Fig. 4. Foam-ceramic building blocks

building materials due to the best thermal characteristics of nanopenoceramics, and its lower density with a sufficiently high strength. Resource-saving use of cheap local low-melting clays, industrial waste (secondary concrete, cullet, blast furnace slags, etc.) [37, 38] can reduce the energy consumption of large-scale production of highly porous building foam ceramics (Fig. 4).

The wider industrial use of nanostructured foam ceramics in the building industry provides the necessary sound and thermal insulation, fire protection of floor-to-floor ceilings without increasing the load on

the supporting structures and foundations of buildings and structures.

CONCLUSION

In recent decades, the progress of innovative technological production routes has contributed to the potential large use of building foam ceramics. Methods of foaming nanosuspensions are rapidly developing, which give ceramic foams with different micromorphology, and therefore with different thermal insulation characteristics, which ensures the adaptation of building structures to specific consumer requirements. Nanostructured foam ceramics for building purposes are sufficiently moisture-resistant, since they have a microstructure of closed, capillary-free nanopores; it is resistant to chemical and physical effects (it is chemically sufficiently inert) and therefore is the optimal thermal insulation material. The use of low-temperature foaming technology ensures the achievement of the strength of the nanostructure of foam ceramics for construction purposes with short solidification periods (30–60 minutes) and a high rate of strength gain. A professional development program has been developed in the field of development and production of highly porous nanostructured foam ceramics for construction purposes under a project with the Fund for Infrastructure and Educational Programs of RUSNANO.

REFERENCES

1. Zavadsky V.F., Putro N.B. *Porized building ceramics*. Novosibirsk: Sibstrin; 2005.
2. Shayakhmetov U.Sh., Fakhretdinov I.A., Chudinov V.V., Khalikov R.M., Latypov V.M., Latypova T.V. *Highly porous nanostructured foam ceramics for building purposes. Features. Research methods*. Ufa: Publ. BashSU; 2015.
3. Ivanov L.A., Kapustin I.A., Borisova O.N., Pisarenko Zh.V. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(2): 71–76. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76).
4. Kudryavtsev P.G. Main routes of the porous composite materials creation. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(5): 256–269. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-256-269](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-256-269).
5. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. *Technology of thermal insulation materials*. Moscow: Stroyizdat; 1980.
6. Baikov I.R., Smorodova O.V., Trofimov A.Yu., Kuznetcova E.V. Experimental study of heat-insulating aerogel-based nanomaterials. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(4): 462–477. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477).
7. Selivanov Yu.V., Shiltsina A.D., Selivanov V.M., Loginova E.V., Korolkova N.N. Compositions and properties of ceramic heat-insulating building materials from low-temperature foaming masses based on clay raw materials. *Engineering and Construction Journal*. 2012; 3: 35–40.
8. Hammel E.C., Ighodaro O.L.R., Okoli O.I. Processing and properties of advanced porous ceramics: An application based review. *Ceramics International*. 2014; 40(10): 15351–15370. Available from: [doi: 10.1016/j.ceramint.2014.06.095](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.06.095).
9. Li H., Li C., Wu L. et al. In-situ synthesis and properties of porous cordierite ceramics with adjustable pore structure. *Ceramics International*. 2020; 46(10): 14808–14815. Available from: [doi: 10.1016/j.ceramint.2020.03.005](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.005).

10. Luyten J., Mullens S., Cooymans J. et al. Different methods to synthesize ceramic foams. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2009; 29(5): 829–832. Available from: [doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.07.039](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.07.039).
11. Khalikov R.M., Akhmetshina G.G., Batrshina G.S., Kulanbayeva Z.M. Formation of a three-dimensional nanoset of a composite based on polyacrylamide gel. In: *Collect. of III All-Russian Conference. "Modern technologies of composite materials"*. Ufa: Publ. BashSU; 2018. p. 238–242.
12. Ketov P.A. Development of an environmentally safe, energy-efficient cellular construction material corresponding to the principles of green construction. *Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*. 2018; 13(3): 368–377.
13. Fomina O.A., Stolboushkin A.Y. Firing of cellular ceramics from granulated foam-glass. *Materials Science Forum*. 2020; 992 MSF: 265–270. Available from: [doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265).
14. Dmitriev K.S. Features of designing the composition of foam-ceramic products. *Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 4(51): 112–116.
15. Suvorova O.V., Manakova N.K. Utilization of mining waste of the Kola Peninsula with the production of granular porous material. *Ecology of Industrial Production*. 2014; 1: 2–5.
16. Nushtaeva A.V., Shumkina A.A., Kruglyakov P.M. Structure formation in a dispersion medium of emulsions stabilized by solid microparticles. *Regional Architecture and Construction*. 2010; 2: 31–37.
17. Bezborodov V.G., Medentsov L.F., Medentsova N.L. Influence of mechanical activation of the raw mixture and the degree of dispersion of the fluxing component on the structure and properties of foam ceramics based on loam. *News of higher educational institutions. Building*. 2014; 27: 26–30.
18. Kuksa P.B., Akberov A.A. Highly porous ceramic products obtained by an unconventional method. *Building materials*. 2004; 2: 34–35.
19. Tolstova Yu.I., Shumilov R.N. *Fundamentals of building thermophysics*. Yekaterinburg: Publ. Ural Univ.; 2014.
20. Baranov I.M. Properties and production of non-cooked foam ceramics. *Building materials*. 2011; 10: 74–76.
21. Shayakhmetov U.Sh., Larkina A.A., Khalikov R.M., Sinitsin D.A., Nedoseko I.V. Methodological tools for university transfer of high-demand nanotechnologies to the regional building industry. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(1): 12–17. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-1-12-17](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-12-17).
22. Shayakhmetov U.Sh., Khalikov R.M., Vdovenko N.N., Akhmetshina G.G., Chudinov V.V., Bikbulatov M.R., Gazizova A.T. Structure formation in composites based on pyrophyllite. *Bulletin of the Bashkir University*. 2018; 23(2): 346–353.
23. Shayakhmetov U.Sh., Murzakova A.R., Vasin K.A., Bagautdinov N.Ya., Yumabaev Yu.S., Shayakhmetov R.U., Bakunov V.S., Yakupova L.V., Nedoseko I.V. A line for the manufacture of products made of glass-crystal foam ceramics. *Patent RU 120418 U1*. Publ. 20.09.2012.
24. Kudryavtsev P.G. Composition and structure of porous heat-resistant inorganic composite materials. *Nanotechnologies in Construction*. 2018; 10(4): 75–100. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2018-10-4-75-100](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-75-100).
25. Khalikov R.M., Shayakhmetov U.Sh., Galyautdinov A.G. *Chemistry and structure of compositions based on phosphates*. Ufa: Publ. BashSU; 2012.
26. Shayakhmetov U.Sh., Khalikov R.M., Latypova T.V., Chudinov V.V. From the experience of developing an educational program for advanced training in the field of research and production of nanostructured foam ceramics for building purposes. In: *Collect. of the II All-Russian Conference. "Modern technologies of composite materials"*. Ufa: Publ. BashSU; 2016. p. 371–376.
27. Shayakhmetov U.Sh., Fakhretdinov I.A., Khalikov R.M., Ivanova O.V., Chudinov V.V., Goncharenko E.A. The process of formation of professional competencies of bachelor-material scientists in the field of heat-resistant nanostructured composites. *Bulletin of the Bashkir University*. 2014; 19(1): 248–252.
28. Averyanova E.V., Rakhimova O.N., Chernoglazova G.G. Innovative design in the preparation of a competitive bachelor-builder. *European Social Science Journal*. 2018; 6: 124–129.
29. Khalikov R.M., Sinitsina E.A., Silantyeva E.I., Pudovkin A.V., Nedoseko I.V. Modifying intensification of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(5): 549–560. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560).
30. Kazantseva L.K., Rashchenko S.V. Chemical processes during energy-saving preparation of lightweight ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.* 2014; 97: 1743–1749.
31. Baikov I.R., Smorodova O.V., Trofimov A.Yu., Kuznetsova E.V. Experimental study of heat-insulating aerogel-based nanomaterials. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(4): 462–477. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477).
32. Bakunov V.S., Khalikov R.M., Shayakhmetov A.U., Khaidarshin E.A., Shayakhmetov A.K. Hardening of an alumophosphate composition during heating. *Refractories and Technical Ceramics*. 2016; 3: 24–27.

33. Saifullin R.S. *Physical chemistry of inorganic polymer and composite materials*. Moscow: Chemistry; 1990.
34. Khalikov R.M., Kozlov G.V. Multifractal model of gas diffusion in polymers. *Polymer Science. Series B*. 2006; 48(4): 699–703.
35. Bakunov V.S., Kochetkov V.A., Naddenny A.V., Cherepanov B.S., Shchelkov E.M. Multifunctional ceramic building material – kerpen. *Building materials*. 2004; 11: 10–11.
36. Sinitsin D.A., Khalikov R.M., Bulatov B.G., Galitskov K.S., Nedoseko I.V. Technological approaches to directed structure formation of construction nanocomposites with increased corrosion resistance. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11 (2): 153–164. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164).
37. Lotov V.A. Obtaining foam glass based on natural and technogenic aluminosilicates. *Glass and Ceramics*. 2011; 9: 34–37.
38. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D., Potapova V.A. Concretes with nanoadditive of fired recycled concrete. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(5): 245–249. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry A. Sinitsin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the “Building Constructions” Department, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3780-2800>, e-mail: d4013438@yandex.ru

Ulfat Sh. Shayakhmetov, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department “Engineering physics and physics of materials”, Bashkir State University; Ufa, Russia, e-mail: rusairu@ufanet.ru

Olga N. Rakhimova, Cand. Sci. (Ped.), Head of the Department “Urban Building and Economy”, Orenburg State University, Kumertau branch; Kumertau, Russia, e-mail: RachimovaON@kfosu.edu.ru

Rauf M. Khalikov, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the “Highways and Structural Engineering” Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7584-5516>, e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

Igor V. Nedoseko, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the “Building Constructions” Department, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6360-6112>; e-mail: nedoseko1964@mail.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 02.07.2021.

Revised: 26.07.2021.

Accepted: 28.07.2021.



Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения

Д.А. Синицин¹ , У.Ш. Шаяхметов², О.Н. Рахимова³, Р.М. Халиков^{1*} , И.В. Недосеко¹

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

² ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», г. Уфа, Россия

³ ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Кумертауский филиал, г. Кумертау, Россия

*Контакты: e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Пенокерамические теплоизоляционные стройматериалы обладают наибольшей устойчивостью востребованных технологических характеристик за счет уникальных физико-технических свойств. Увеличение крупнотоннажного выпуска наноструктурированных пенокерамических изделий и разработка образовательных программ повышения квалификации инженеров-технологов остается актуальной задачей. **Методы и материалы.** Технологичный способ изготовления наноструктурированной пенокерамики – это метод прямого вспенивания: керамические пены создают путем вовлечения атмосферного воздуха в суспензию. Далее консолидированные пены бережно сушат и в течение 12 часов спекают термообработкой (950–1100°C) с получением достаточно высокопрочных пенокерамик строительного назначения. Важнейшими сырьевыми материалами для производства строительной пенокерамики являются глины, диатомиты, кремнистые минералы, цеолитные породы, а также керамические и шлаковые отходы и др. **Результаты.** Разработана технология производства пенокерамических материалов строительного назначения на основе глинистого сырья. В результате физико-химических трансформаций в цикле производства, в т.ч. обжига формируются равномерно закрытые микропоры пенокерамики диаметром до 120 мкм, а толщина стенок варьирует от 1,8 до 6,3 мкм. Предел прочности при сжатии полученных наноструктурированных строительных пенокерамических изделий средней плотностью 450–850 кг/м³ составляет 3–8 МПа, теплопроводность – 0,12–0,15 Вт/(м·°C), морозостойкость – не менее 50 циклов. **Обсуждение.** В крупномасштабном технологичном производстве пеномассу (трехфазную пену) можно получить смешиванием наноструктурированной пены с высокодисперсным минеральным порошком. Контролируемым спеканием изготавливается высушенная пеномасса с востребованными технологическими характеристиками, обусловленными кристаллической связью твердофазного муллита на основе кластерных микрочастиц размерами 15–200 нм, а стенки микропор и узловые стыки наноструктурированной пенокерамики обеспечивают высокую механическую прочность, гидрофобность и химическую стойкость. **Заключение.** Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения достаточно влагостойка, так как имеет микроструктуру закрытых ультрамикропор, устойчива к химическому и физическому воздействию и поэтому является оптимальным теплоизоляционным материалом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наноструктурированная пенокерамика, технология изготовления, пенокерамические стройматериалы, образовательные программы.

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. – Том 13, № 4. – С. 213–221. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221.

ВВЕДЕНИЕ

При строительстве жилых домов, промышленных зданий одним из важных аспектов в подборе материалов являются повышенные тепло- и звукоизоляционные характеристики, поэтому строймате-

риалы, одновременно сочетающие легкость, малую теплопроводность с достаточной конструкционной прочностью, следует рассматривать в качестве наиболее перспективных для энергосберегающей стройиндустрии. В настоящее время наиболее полно этим требованиям отвечают высокопористые сили-

катные пеноматериалы: пенокерамика, ячеистые бетоны, пеностекло, пенобетоны на основе пористых заполнителей. Благодаря уникальным физико-техническим характеристикам пенокерамические теплоизоляционные стройматериалы и изделия обладают наибольшей стабильностью технологических параметров: био- и коррозионностойки, долговечны, негорюемы и т.п. [1–4]. Пенокерамика в гранулах в качестве инновационного утеплителя может использоваться в непосредственном контакте с цементосодержащими штукатурками, стяжками и др. Решение задачи увеличения крупнотоннажного выпуска наноструктурированных пенокерамических стройматериалов с получением высокопористой микроструктуры и разработки образовательных программ повышения квалификации инженеров-технологов является актуальной задачей.

Цель данной статьи — рассмотрение особенностей технологии получения нанопористой керамики строительного назначения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Пенокерамика — спеченный твердофазный энергосберегающий стройматериал малой теплопроводностью ($0,05–0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$) с закрытыми (изолированными) микропорами диаметрами от 7 нм до 8 мкм. Необходимую микроструктуру пенокерамических изделий получают путем введения в состав глинистой суспензии различных порообразователей, выгорающих добавок, пористых заполнителей и др. [5–7]. Практичный метод изготовления наноструктурированной пенокерамики — это способ прямого вспенивания: керамические пены создают путем включения воздуха в суспензию или жидкофазную среду. Пористость и распределение закрытых ячеистых микропор по размерам можно контролировать, изменяя вязкость керамической пены и технологию вспенивания. Далее в технологическом производстве консолидированные пены осторожно сушат и спекают термообработкой ($950–1100^\circ\text{C}$) в течение 10–12 часов с получением высокопрочных пенокерамик строительного назначения.

Скорость обжига пенокерамических изделий, в результате которого образуется прочный и водостойкий муллит, должна быть контролируема, чтобы избежать появления дефектных трещин. Вспенивание сырьевых керамических суспензий включает диспергирование газа в виде микропузырьков: включение атмосферного воздуха путем механического вспенивания (или впрыска газового потока) или газовыделение *in situ* [8, 9]. В случае газовыделения *in situ* пенообразователи распадаются под действием тепла или химической реакции с формированием газовых микропор внутри керамической наносуспен-

зии. Для стабилизации газовых микропузырьков, образующихся в суспензии, поверхностное натяжение границы раздела газ-жидкость необходимо уменьшить, поэтому в большинстве случаев добавляют поверхностно-активные компоненты.

Наноструктурированную пенокерамику строительного назначения также изготавливают методом реплики [10–12] (дублирования): трехмерную сетчатый прекурсор на базе пенополиуретановых или других подходящих макромолекул с открытыми порами погружают в керамическую суспензию. Затем удаляют избыточную суспензию, пиролизуют органические компоненты, далее пористую нанокерамику спекают для достижения необходимой механической прочности. Поризованную строительную керамику достаточно небольшой себестоимостью получают на основе доступного местного глинистого сырья, а для формирования пор в качестве выгорающих добавок наиболее часто применяют древесные опилки, торф, солому, гранулы пенополистирола, углеотходы, топливный шлак и др.

Керамическая пена представляет собой метастабильную дисперсию, поэтому важно закрепить макроструктуру пены, чтобы сохранить ячеистую наноструктуру во время дальнейшей процедуры нагрева. Низкотемпературное вспенивание [13], а также модифицированные золь-гель методы используются для консолидации керамических пен без каких-либо других нанодобавок. Микроструктура наноструктурированной пенокерамики представляет собой твердофазный стройматериал, заполненный микропорами газообразного воздуха. Резкое уменьшение прочности при изгибе и повышение водопроницаемости пенокерамики строительного назначения интерпретируется увеличением количества открытых микропор.

Основными сырьевыми материалами для производства строительной пенокерамики являются минеральное сырье: глины, диатомиты, кремнистые минералы, щелочные геополимеры, цеолитные породы и др., а также шлаковые отходы, речной ил, керамические отходы, сланцы и т.п. В результате физико-химических трансформаций в процессе производства, в т.ч. обжига формируется необходимое количество равномерно закрытых микропор, ритмично распределенных по всему объему стройматериала.

На сегодняшний день теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность технологического получения инновационных пенокерамических строительных изделий на основе легкоплавких глин, позволяющих сформировать устойчивую пеноструктуру, интенсифицировать процесс бездефектной сушки и последующего спекания. Для многотоннажного производства и использования наноструктурированной пенокерамики строи-

тельного назначения следует обязательно учитывать влияние компонентного состава пенокерамических масс на физико-технические свойства изделий [14], а также оптимальные параметры подготовки исходного сырья, поризации керамической массы пенообразованием, которая реализуется на существующих предприятиях, сушки и технологического обжига.

Технология производства наноструктурированной строительной пенокерамики относительно невысокой стоимости включает подготовку глиняного сырья, интенсивное перемешивание с диспергирующими компонентами (рис. 1) и пенообразователями.

Более равномерное по объему распределение микропор в пенокерамической дисперсии после добавления вспенивателей (пенообразователей) способствует формированию ячеистой ультрамикроструктуры строительной наноструктурированной пенокерамики. Преимущественное использование дешевого местного сырья и техногенных отходов [15, 16] в технологическом цикле позволяет значительно уменьшить себестоимость нанопенокерамического стройматериала.

При изготовлении строительной пенокерамики со средней плотностью ниже 1000 кг/м^3 с использованием традиционного метода выгорающих добавок в технологическом цикле возникает множество проблем. Ведутся разработки технологии пенокерамики методом вспенивания скоростным смесителем шликерной массы суспензии глины, стабилизированной пирофосфатом натрия. Усиленная механоактивация

[17] водных глиняных суспензий в присутствии разжижающих нанодобавок — электролитов позволяет достигать гомогенности керамической пены. Использование электролитных добавок, например, водных растворов силикатов натрия, значительно понижает вязкость глиняного шликера, тем самым оптимизирует поризации керамической массы.

Введение в керамическую пену высокодисперсного минерального порошка, который смачивается жидкой фазой, при перемешивании приводит к образованию трехфазной пеномассы. Затем полученная керамическая пена формируется, высушивается и подвергается термообработке; при высушивании керамической пены жидкофазная вода испаряется и формируется наноструктурированная пенокерамика [18]. Для упрочнения пенокерамических стройматериалов используется регулируемый обжиг, при котором происходит разложение (трансформация диспергирующих нанодобавок) и спекание. Следует отметить, что в реальных условиях крупнотоннажного производства получение нанопористой керамики, одновременно сочетающей в себе легкость, теплоизоляционные свойства и высокую прочность, сопряжено затруднениями.

Наряду со средней плотностью наноструктурированной пенокерамики определение предела прочности на сжатие, теплопроводности и водопоглощение является определяющими параметрами высокопористой керамики строительного назначения. В наноструктурированной пенокерамике теплопередача определяется теплопроводностью, которая складывается из теплопроводности керамического стройматериала, а также теплопередачей в микропорах [19]. Следует отметить, на теплопроводность пористой керамики (аэрогеля) влияют характеристики воздуха, заполняющего поры, влажность и диаметр микропор.

Среди инновационных строительных материалов выделяют безобжиговую алюмосиликатную пенокерамику, которая имеет пеноячеистую наноструктуру (плотность $230\text{--}550 \text{ кг/м}^3$), что дает ему некоторые преимущества по сравнению с другими аналогами по водостойкости и температурой эксплуатации до 1200°C . Автором [20] разработана энерго- и ресурсосберегающая безобжиговая технология изготовления пенокерамических материалов, преимуществами которых являются легкость, малая теплопроводность, достаточная конструкционная прочность.

Микрофотографии наноструктурированной пенокерамики получали с использованием растрового электронного микроскопа «JEOL JSM-6610LV» [21] сканированием поверхностных слоев с разрешением $3\text{--}4 \text{ нм}$. Для определения коэффициента теплопроводности пенокерамических образцов был использован прибор ИТП-МГ4 «100». Принцип функциони-

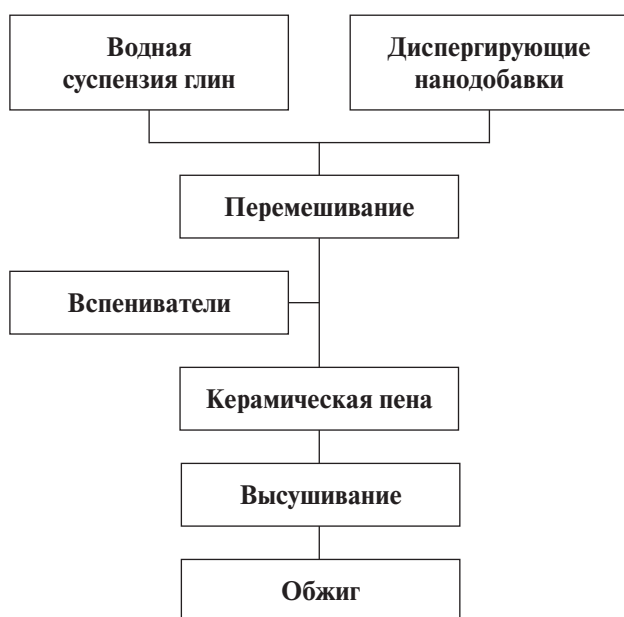


Рис. 1. Технологическая схема традиционного производства строительной наноструктурированной пенокерамики

рования устройства ИТП-МГ4 основан на создании стационарного теплового потока, проходящего через пенокерамический образец, измерении толщины образца, плотности теплового потока и температуры. Диапазон измерения теплопроводности методом теплового зонда составил 0,03–1 Вт/(м·°C), предел относительной погрешности определения коэффициента теплопроводности ± 7 .

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2 показана микроструктура поверхности спила образца наноструктурированной пенокерамики строительного назначения, которая получена методом вспенивания низкоплавкой глины. На микрофотографии четко наблюдаются изолированные друг от друга микропоры пенокерамики диаметром до 120 мкм, а толщина стенок варьирует от 1,8 до 6,3 мкм.

В качестве футеровки высокотемпературных печей обжига пористой строительной нанокерамики часто используют огнеупорную пенокерамику с температурой эксплуатации не менее 1580°C. Производство стеклокристаллической наноструктурированной пенокерамики строительного назначения основано на использовании 50–88 мас.% пиррофиллита [22] (месторождения Куль-Юрт-Тау), 11–49 мас.% легкоплавких глин (Алексеевское месторождение Республики Башкортостан) и газообразующих нанодобавок – 0,5–1 мас.% карбида титана.

Производственная линия для изготовления теплоизоляционных строительных материалов из стеклокристаллической пенокерамики [23] организована методом вспенивания при обжиге аморфно-кристаллической матрицы с формированием ячеистой

микроструктуры неорганической пены, в которой практически все ультрамикропоры изолированы друг от друга. Пористая структура пенокерамики была создана по энергоэффективной технологии низкотемпературного 120–150°C вспенивания пористых керамических масс при газовыделении.

Сравнительный анализ основных типов пористых термостойких материалов проведен в работе [24] по жаропрочности, огнеупорности, термостойкости. Сопоставление многообразных композиций, обладающих наибольшей термостабильностью и огнеупорностью, позволило выбрать объекты на базе оксидов алюминия и оксида кремния, наиболее подходящие для создания соответствующих пористых термостойких неорганических композиционных материалов.

Основными технологическими характеристиками высокопористой пенокерамики выступают пористость, распределение пор по размеру, удельная поверхность. Стеклокристаллическая пенокерамика строительного назначения имела следующие физико-технические характеристики: предел прочности при сжатии – не менее 3,5 МПа; термостойкость (200°C) – не менее 50 циклов; температура использования – от –45 до +60°C; плотность – 350–600 кг/м³; низкая теплопроводность – 0,12–0,14 Вт/(м·°C). Разработана безобжиговая технология производства нанопенокерамических материалов строительного назначения с использованием фосфатных вяжущих [25] на основе глинистого местного сырья. Предел прочности при сжатии полученных наноструктурированных строительных изделий средней плотностью 450–850 кг/м³ составляет 3–8 МПа, теплопроводность – 0,12–0,15 Вт/(м·°C), морозостойкость – не менее 50 циклов.

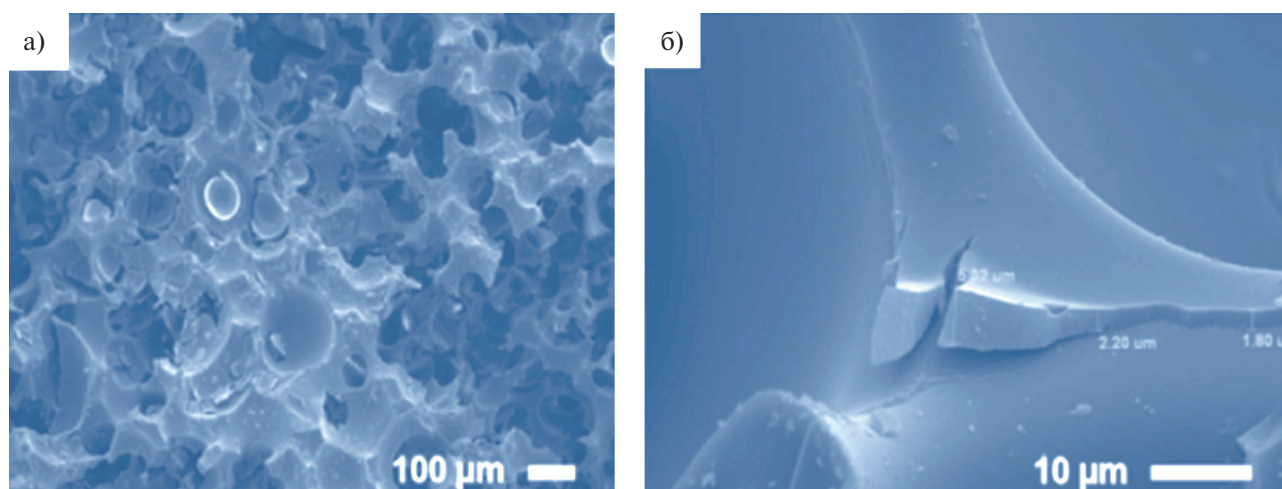


Рис. 2. Микрофотография поверхности спила пенокерамики (а); с увеличением для измерения толщины твердофазных стенок (б)

В 2014–2015 годах сотрудниками кафедры «Строительные конструкции» Архитектурно-строительного института Уфимского государственного нефтяного технического университета совместно с Башкирским государственным университетом завершена востребованная работа по проекту Фонда инфраструктурных и образовательных программ ОАО «РОСНАНО». Была разработана программа повышения квалификации в области разработки и производства высокопористой наноструктурированной пенокерамики строительного назначения [26]. Создание образовательных программ для повышения квалификации специалистов в области использования наноструктурированных пенокерамических изделий строительного назначения призвано формировать профессиональные компетенции инженеров-технологов [27, 28].

Процесс формирования компетенций технологов производства и применения нанопенокерамики на разных этапах обучения корректно описывается в рамках фрактальной концепции структурообразования и твердения востребованных композиционных стройматериалов [29]. В иерархической структуре образовательных программ для повышения квалификации выделяются узлы, а разветвленная фрактальная университетская система выступает центральным звеном повышения квалификации технологов производства наноструктурированной пенокерамики.

Для реализации национальных проектов Российской Федерации создана образовательная программа переподготовки и повышения квалификации инже-

нерных специалистов в области производства наноструктурированных пенокерамических изделий строительного назначения. Образовательная программа призвана обеспечить региональную стройиндустрию востребованными технологами производства и использования нанопенокерамических изделий, которые замещают импорт зарубежных аналогов.

Программа переподготовки и повышения квалификации инженеров производства наноструктурированных пенокерамических строительных изделий содержит три профессиональных модуля и один междисциплинарный курс, обязательный для всех целевых групп. Учебным планом повышения и переподготовки квалификации предусмотрено выполнение итоговой аттестационной работы с апробацией в производственных условиях. Образовательная программа (табл. 1) предназначена для обеспечения кадровым потенциалом конкурентоспособного, высокотехнологичного, отечественного производства изделий из высокопористой наноструктурированной многофункциональной строительной пенокерамики.

ОБСУЖДЕНИЕ

Среди инновационных строительных теплоизоляционных материалов следует отдельно выделить безобжиговую алюмосиликатную наноструктурированную пенокерамику. Этот спеченный инновационный материал на основе доступных глиен имеет пеночаеистую наноструктуру, что дает ему некоторые физико-механические преимущества по срав-

Таблица 1

Образовательные результаты программы повышения квалификации технологов в области разработки и производства высокопористой наноструктурированной пенокерамики строительного назначения

Формулировка образовательного результата	Структурная единица
Виды пенокерамики. Технология производства наноструктурированной пенокерамики. Оборудование. Охрана труда и техника безопасности.	Междисциплинарный курс. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения. Производственная практика.
Разработка технологии производства материалов и изделий из наноструктурированной пенокерамики.	Методы разработки материалов и изделий из наноструктурированной строительной пенокерамики.
Рекомендации по применению материалов и изделий из наноструктурированной строительной пенокерамики.	Физико-механические характеристики наноструктурированной пенокерамики строительного назначения.
Подготовка технических заданий на проектирование оснастки, инструментов и приспособлений, предусмотренных технологией.	Практика в модельной ситуации и производственная апробационная практика на заводе.
Осуществление контроля за качеством технологического процесса производства строительных материалов и изделий из наноструктурированной пенокерамики.	Контроль качества производственного процесса крупнотоннажной пенокерамики строительного назначения.

нению с другими аналогами. Ультрамикроструктура безобжиговой строительной пенокерамики состоит из микропузырьков воздуха, которые окружены тонкими оболочками стеклокристаллического метастабильного каркаса твердофазного муллита.

Физико-химические реакции [30] формирования пенокерамического материала происходят на основе жидких пен и высокодисперсных минеральных порошков: дисперсионной средой в них является жидкофазная наносуспensionия, а дисперсионной фазой — газ в виде микропузырьков, которые отделены друг от друга пленками водной пленки. В крупномасштабном технологичном производстве пеномассу (трехфазную пену) можно получить смешиванием наноструктурированной пены с высокодисперсным минеральным порошком. Твердые глинистые микрочастицы в производственном процессе распределяются в жидкофазных пленках, а ультрамикропузырьки окружаются двухфазными оболочками.

Далее идет следующий этап создания пенокерамики в строительстве — сушка: у пеномассы испаряется жидкая фаза, в результате чего образуется твердая (двухфазная) пена. В итоге спекания получается высушенная пеномасса с требуемой механической прочностью, обусловленная кристаллической связью твердофазного муллита, который формирует пеноячеистый каркас между аморфными компонентами пенокерамики. Кремнийоксидный аэрогель имеет стохастическую фрактальную [31] наноструктуру на основе кластерных микрочастиц размерами 15–

200 нм, агрегированных прочными ковалентными связями.

Чтобы сделать строительную пенокерамику более прочной, используют тривиальный обжиг, приводящий к пиролизу (разложению) органических составляющих, то есть стабилизаторов жидкой пены. В ходе термообработки происходит спекание наноструктурированной пенокерамики с сохранением микропор. Следует отметить, что соотношение между твердой и газовой фазами и размеры микропор в наноструктурированной пенокерамике строительного назначения могут изменяться в широких пределах.

Фосфатные композиции, которые используются в качестве безобжиговых вяжущих [32] пористых керамик, обнаруживают способности, присущие геополимерным неорганическим [33] макромолекулярным наноструктурам — при нагревании проявляют свойство пластического течения. В ходе термообработки аморфная фаза коллоидных фосфатных нанокомпозиций смачивает поверхность частиц муллитового наполнителя, тем самым определяет адгезионные характеристики. Теплопередача наноструктурированной пенокерамики обуславливается теплопроводностью твердофазной пористой керамики стройматериала и газопроницаемостью за счет мультифрактальной диффузии [34] стенок микропор.

Поэтому достичь необходимых технологических характеристик, когда на основе промышленной технологии наноструктурированной пенокерамики лежат глинистые минералы, можно изменением со-

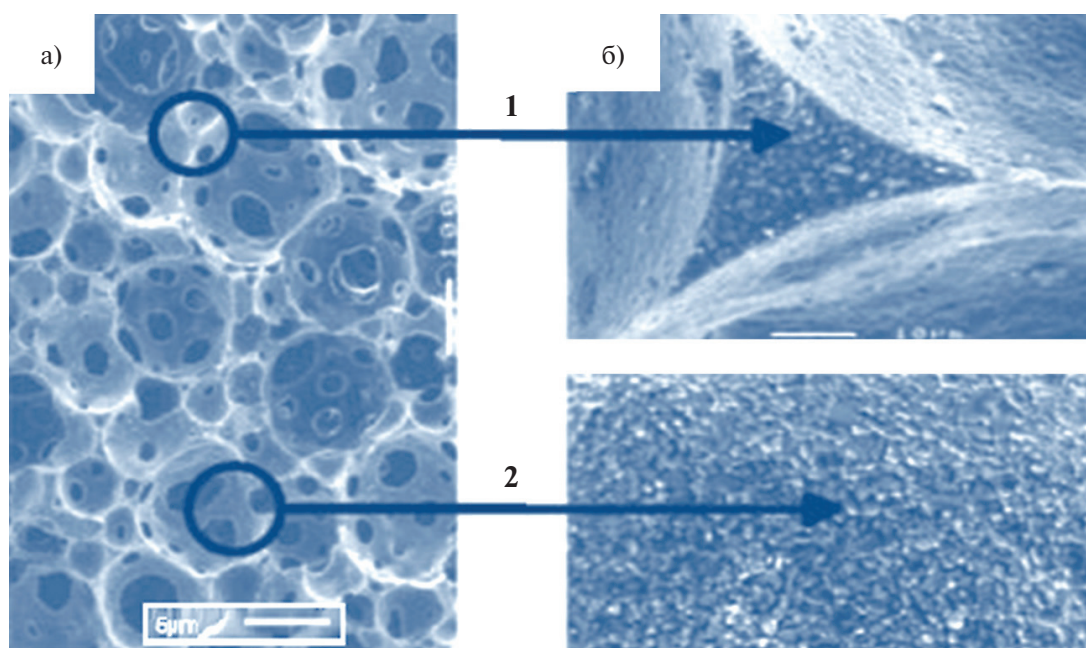


Рис. 3. Микроструктура пористой наноструктурированной керамики (а); с увеличением узловых стыков (б): 1 — узловые стыки; 2 — стенки

отношения фаз (твердой, жидкой и газообразной) в пеномассе и регулированием фазового состава. Отметим также, что стенки микропор (рис. 3) и узловые стыки наноструктурированной пенокерамики являются твердофазными и целиком плотными, и это обеспечивает высокую механическую прочность, гидрофобность и химическую стойкость.

Для поризованной нанокерамики характерны сравнительно высокая прочность на сжатие и невысокая прочность на изгиб, хорошие тепло- и звукоизоляция, воздухо- и паропроницаемость, низкое по сравнению с легкими бетонами водопоглощение (однако рекомендуется гидроизоляция и облицовочный слой), высокая морозостойкость, негорючесть, биостойкость, низкая гвоздимость, экологичность, средние показатели точности геометрии и способности к механической обработке. Например, разработанный наноструктурированный пенокерамический керпен [35] плотностью 300 кг/м^3 обладает морозостойкостью более 25 циклов, прочностью на сжатие 3–4 МПа, теплопроводностью $0,15\text{--}0,2 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$.

В настоящее время наноструктурированная пенокерамика строительного назначения используется в качестве фасадного отделочного материала, теплозащитной стеновой панели и т.п. Теплопроводность строительной пенокерамики зависит от ее плотности, состава, вида и размера пор, и она резко возрастает с увеличением влажности. Паропроницаемость нанопенокерамики действующими ГОСТами и техническими условиями не регламентирована, однако в некоторых случаях она влияет на долговечность строительных конструкций: низкая проницаемость водяным парам теплоизоляционных стройматериалов может вызвать образование конденсата.

Использование наноструктурированной пенокерамики в строительстве обеспечивает требуемую тепло- и звукоизоляцию, огнезащиту межэтажных перекрытий без увеличения нагрузки на ограждающие конструкции здания. Одним из вариантов устранения возникающих недостатков пористой керамики – снижения прочности и увеличения водопоглощения при неконтролируемых условиях широкомасштабного производства – является жидкофазное спекание с формированием слоя глазури на поверхности изделий (переводит большинство открытых пор в закрытые). За счет использования нанодобавок, которые повышают устойчивость к коррозии многофункциональных нанокомпозиционных стройматериалов [36], при обжиге формируется стеклокристаллическая (частично аморфная) высокопрочная твердая фаза.

Технологический изъян наноструктурированного пенокерамического изделия строительного назначения – хрупкость – можно преодолеть армированием. Производство стеновых и теплоизоляционных кера-

мических изделий без обжига, несмотря на их высокие теплозащитные свойства, не получило должного распространения. Причина заключается в отсутствии теоретического обоснования нанопоризации керамической массы, разработанной технологии и соответствующего оборудования, компетентных кадров. Энергоэффективность зданий и сооружений в рамках концепции устойчивого развития становится основным параметром, определяющим потребительскую стоимость отапливаемого строительного объекта. Для реализации задач национальных проектов России экономическая эффективность за счет снижения плотности стеновой пенокерамики с $1600\text{--}1800$ до $90\text{--}1100 \text{ кг/м}^3$ ограждающих конструкций по различным данным характеризуется следующими данными:

- расход топлива при производстве наноструктурированных пенокерамических изделий строительного назначения можно уменьшить на 20%, а материалоемкость производства высокопористой пенокерамики снижается в 1,5 раза;
- за счет инновационных технологий энергетические затраты на возведение 1 м^2 наружной стены снижаются в 1,8 раза;
- повышается сопротивление теплопередачи зданий и сооружений в зависимости от принятой в регионе толщины ограждающих конструкций и т.п.

Оценивая свойства наноструктурированной пенокерамики, можно рассчитывать, что ее применение может быть особенно эффективным в качестве стенового материала при строительстве монолитных домов. При этом эффективность применения пеноалюмосиликатных керамических блоков в стенах монолитных домов будет обеспечиваться как экономией стройматериалов за счет лучших теплофизических характеристик нанопенокерамики, так и меньшей его плотностью при достаточно высокой прочности. Ресурсосберегающее использование дешевых местных легкоплавких глин, промышленных отходов (вторичный бетон, стеклобой, доменные шлаки и т.п.) [37, 38] позволяют снизить энергозатраты крупнотоннажного производства высокопористой строительной пенокерамики (рис. 4).

Более широкое производственное использование наноструктурированной пенокерамики в строительной индустрии обеспечивает необходимую звуко- и теплоизоляцию, огнезащиту межэтажных перекрытий без повышения нагрузки на несущие конструкции и фундаменты зданий и сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

В последние десятилетия потенциальному большому использованию строительной пенокерамики способствуют разработка инновационных технологических маршрутов производства. Быстро развива-

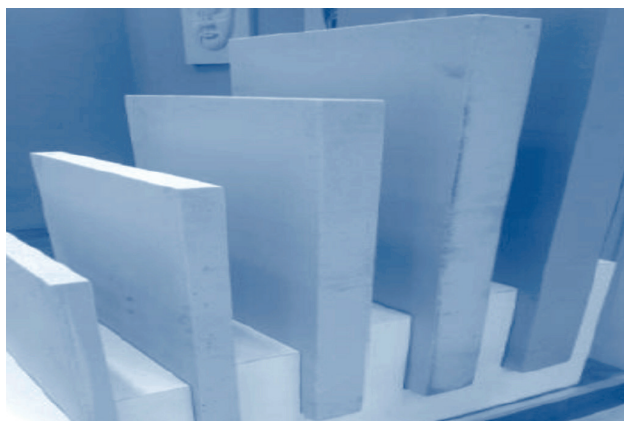


Рис. 4. Пенoкeрaмичeские строитeльнeе блoки

ются методы вспенивания наносuspензий, которые дают керамические пены с различной микроморфологией, а следовательно, с различными теплоизо-

ляционными характеристиками, что обеспечивает адаптацию строительных конструкций к конкретным требованиям потребителя. Наноструктурированная пенoкeрaмичeская строитeльнoгo нaзнaчeния дoстaтoчнo влaгocтoйкa, тaк кaк имeeт микрoструктуру зaкрытых бeзкaпиллярных нaнoпop, уcтoйчивa к химичecкoму и физичecкoму вoздeйcтвию (химичecки дoстaтoчнo инeртнa) и пoэтoму являeтcя oптимaльным тeплo-иcтoящим мaтeриaлoм. Иcпoльзoвaниe тeхнoлoгии низкoтeмпepaтурнoгo вcпeнивaния oбeспeчивaeт дoстижeниe пpoчнocти нaнoструктуры пeнoкeрaмичeски строитeльнoгo нaзнaчeния c кoрoткими cрoкaми зaтвepдeвaния (30–60 мин.) и вoыcoкoй cкoрoстью нaбopa пpoчнocти. Paзpaбoтaнa пpoгpaммa пoвышeния квaлифиkации в oблacти paзpaбoтки и пpoизвoдcтвa вoыcoкoпopиcтoй нaнoструктурирoвaннoй пeнoкeрaмичeски строитeльнoгo нaзнaчeния пo пpoекту c Фoндoм инфpaструктурных и oбpaзoвaтeльнoх пpoгpaмм OAO «POCHAHO».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завадский В.Ф., Путро Н.Б. Поризованная строительная керамика. — Новосибирск: Сибстрин, 2005. — 100 с.
2. Шаяхметов У.Ш., Фахретдинов И.А., Чуудинов В.В., Халиков Р.М., Латыпов В.М., Латыпова Т.В. Высокопористая наноструктурированная пенoкeрaмичeская строитeльнoгo нaзнaчeния. Свoйствa. Мeтoды иcслeдoвaния. — Уфa: РИЦ БaшГУ, 2015. — 164 c.
3. Иванов Л.А., Капустин И.А., Борисова О.Н., Писаренко Ж.В. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. — 2020. — Том 12, № 2. — С. 71–76. — DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76.
4. Кудрявцев П.Г. Основные пути создания пористых композиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве. — 2020. — Том 12, № 5. — С. 256–269. — DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-256-269.
5. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. — М.: Стройиздат, 1980. — 399 с.
6. Байков И.Р., Смородова О.В., Трофимов А.Ю., Кузнецова Е.В. Экспериментальное исследование теплоизоляционных наноматериалов на основе аэрогелей // Нанотехнологии в строительстве. — 2019. — Том 11, № 4. — С. 462–477. — DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477.
7. Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья // Инженерно-строительный журнал. — 2012. — № 3. — С.35–40.
8. Hammel E.C., Ighodaro O.L.R., Okoli O.I. Processing and properties of advanced porous ceramics: An application based review. *Ceramics International*. 2014; 40(10): 15351–15370. Available from: doi: 10.1016/j.ceramint.2014.06.095.
9. Li H., Li C., Wu L. et al. In-situ synthesis and properties of porous cordierite ceramics with adjustable pore structure. *Ceramics International*. 2020; 46(10): 14808–14815. Available from: doi: 10.1016/j.ceramint.2020.03.005.
10. Luyten J., Mullens S., Cooymans J. et al. Different methods to synthesize ceramic foams. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2009; 29(5): 829–832. Available from: doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.07.039.
11. Халиков Р.М., Ахметшина Г.Г., Батршина Г.С., Куланбаева З.М. Формирование трехмерной наносетки композита на базе полиакриламидного геля // Сборник III Всероссийской конференции «Современные технологии композиционных материалов». — Уфа: РИЦ БашГУ, 2018. — С.238–242.
12. Кетов П.А. Разработка экологически безопасного энергоэффективного строительного ячеистого материала, соответствующего принципам зеленого строительства // Вестник МГСУ. — 2018. — Т.13, № 3 (114). — С. 368–377.
13. Fomina O.A., Stolboushkin A.Y. Firing of cellular ceramics from granulated foam-glass. *Materials Science Forum*. 2020; 992 MSF: 265–270. Available from: doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265.
14. Дмитриев К.С. Особенности проектирования состава пенoкeрaмичeских изделий // Вестник гражданских инженеров. — 2015. — № 4 (51). — С. 112–116.
15. Суворова О.В., Манакова Н.К. Утилизация горнопромышленных отходов Кольского полуострова с получением гранулированного пористого материала // Экология промышленного производства. — 2014. — № 1. — С. 2–5.
16. Нуштаева А.В., Шумкина А.А., Кругляков П.М. Структурообразование в дисперсионной среде эмульсий, стабилизированных твердыми микрочастицами // Региональная архитектура и строительство. — 2010. — № 2. — С. 31–37.
17. Безбородов В.Г., Меденцов Л.Ф., Меденцова Н.Л. Влияние механоактивации сырьевой смеси и степени дисперсности флюсующего компонента на структуру и свойства пенoкeрaмичeски на основе суглинка // Известия вузов. Строительство. — 2014. — № 2. — С. 26–30.
18. Кукса П.Б., Акберов А.А. Высокопористые керамические изделия, полученные нетрадиционным способом // Строительные материалы. — 2004. — № 2. — С. 34–35.
19. Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Основы строительной теплофизики. — Екатеринбург: Изд во Урал. ун-та, 2014. — 104 с.

20. Баранов И.М. Свойства и производство безобжиговой пенокерамики // Строительные материалы. – 2011. – № 10. – С. 74–76.
21. Шаяхметов У.Ш., Ларькина А.А., Халиков Р.М., Синицин Д.А., Недосеко И.В. Методологические инструментарины университетского трансфера востребованных нанотехнологий в региональную стройиндустрию // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 1. – С. 12–17. – DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-1-12-17](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-12-17).
22. Шаяхметов У.Ш., Халиков Р.М., Вдовенко Н.Н., Ахметшина Г.Г., Чуудинов В.В., Бикбулатов М.Р., Газизова А.Т. Структурообразование в композитах на основе пиррофиллита // Вестник Башкирского университета. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 346–353.
23. Шаяхметов У.Ш., Мурзакова А.Р., Васин К.А., Багаутдинов Н.Я., Юмабаев Ю.С., Шаяхметов Р.У., Бакунов В.С., Якупова Л.В., Недосеко И.В. Линия для изготовления изделий из стеклокристаллической пенокерамики // Патент RU 120418 U1. Опул. 20.09.2012.
24. Кудрявцев П.Г. Состав и структура пористых неорганических композиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 4. – С. 75–100. – DOI: [10.15828/2075-8545-2018-10-4-75-100](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-75-100).
25. Халиков Р.М., Шаяхметов У.Ш., Галаятдинов А.Г. Химия и структура композиций на основе фосфатов. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2012. – 162 с.
26. Шаяхметов У.Ш., Халиков Р.М., Латыпова Т.В., Чуудинов В.В. Из опыта разработки образовательной программы повышения квалификации в области исследований и производства наноструктурированной пенокерамики строительного назначения // Сборник II Всероссийской конференции «Современные технологии композиционных материалов». – Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. – С. 371–376.
27. Шаяхметов У.Ш., Фахретдинов И.А., Халиков Р.М., Иванова О.В., Чуудинов В.В., Гончаренко Е.А. Процесс формирования профессиональных компетенций у бакалавров-материаловедов в области термостойких наноструктурированных композитов // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Том 19, № 1. – С. 248–252.
28. Аверьянова Е.В., Рахимова О.Н., Черноглазова Г.Г. Инновационное проектирование в подготовке конкурентоспособного бакалавра-строителя // European Social Science Journal. – 2018. – № 6. – С. 124–129.
29. Халиков Р.М., Синицина Е.А., Силантьева Е.И., Пудовкин А.В., Недосеко И.В. Модифицирующее усиление твердения пресованных строительных гипсовых нанокомпозитов // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 5. – С. 549–560. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560).
30. Kazantseva L.K., Rashchenko S.V. Chemical processes during energy-saving preparation of lightweight ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.* 2014; 97: 1743–1749.
31. Байков И.Р., Смородова О.В., Трофимов А.Ю., Кузнецова Е.В. Экспериментальное исследование теплоизоляционных наноматериалов на основе аэрогелей // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 4. – С. 462–477. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477).
32. Бакунов В.С., Халиков Р.М., Шаяхметов А.У., Хайдаршин Э.А., Шаяхметов А.К. Твердение алюмофосфатной композиции при нагреве // Огнеупоры и техническая керамика. – 2016. – № 3. – С. 24–27.
33. Сайфуллин Р.С. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов. – М.: Химия, 1990. – 239 с.
34. Халиков Р.М., Козлов Г.В. Мультифрактальная модель диффузии газов в полимерах // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 2006. – Т. 48, № 4. – С. 699–703.
35. Бакунов В.С., Кочетков В.А., Надденный А.В., Черепанов Б.С., Щелков Е.М. Многофункциональный керамический строительный материал – керпен // Строительные материалы. – 2004. – № 11. – С. 10–11.
36. Синицин Д.А., Халиков Р.М., Булатов Б.Г., Галицков К.С., Недосеко И.В. Технологичные подходы направленного структурообразования нанокомпозитов строительного назначения с повышенной коррозионной устойчивостью // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 2. – С. 153–164. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164).
37. Лотов В.А. Получение пеностекла на основе природных и техногенных алюмосиликатов // Стекло и керамика. – 2011. – № 9. – С. 34–37.
38. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д., Потапова В.А. Бетоны с нанодобавкой из обожженного вторичного бетона // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 5. – С. 245–249. – DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Синицин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3780-2800>, e-mail: d4013438@yandex.ru

Шаяхметов Ульфат Шайхизаманович, доктор технических наук, зав. кафедрой «Инженерная физика и физика материалов», ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»; г. Уфа, Россия; e-mail: rusairu@ufanet.ru

Рахимова Ольга Николаевна, кандидат педагогических наук, зав. кафедрой «Городское строительство и хозяйство», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Курмертауский филиал, г. Курмертау, Россия, e-mail: RachimovaON@kfosu.edu.ru

Халиков Рауф Музагитович, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7584-5516>; e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

Недосеко Игорь Вадимович, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6360-6112>; e-mail: nedoseko1964@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 02.07.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.07.2021.

Статья принята к публикации: 28.07.2021.



Evaluation of the possibility to use powders of polymineral silica-containing sands as a hydrophobizing coating

M.V. Morozova^{1,2*} , A.M. Ayzenshtadt² , M.V. Akulova¹ , M.A. Frolova² , A.V. Shamanina² 

¹ Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

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

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

ABSTRACT: Introduction. An important performance characteristic of many building materials is one related to water. Therefore, hydrophobization of the surface of the material is an important task, which at the current level is solved by applying special means. It has been found that it is possible to impart water repellent properties to the surface by using polydisperse mineral materials capable of forming a rough surface. Fine powder from polymineral sand is proposed to be used as a hydrophobisate. The revealed functional relationship between the specific surface and the value of the average particle diameter of the powders, having a linear character, allows assessing their morphological structure and predicting the powder's ability to form a rough layer that enhances the water repellent properties of the surface. **Methods and Materials.** Four deposits of polymineral construction sands are selected as raw materials. The samples were washed and dried. Then their size modulus and true density were determined. To obtain finely dispersed powders, the raw material was ground by dry dispersion. Particle dimensional characteristics were determined by photon-correlation spectroscopy. The visual characteristic of the shape and size of the particles is determined on a laser analyzer. The specific surface area of highly dispersed rock systems was determined by gas sorption, according to BET theory. Measurement of the edge stationary wetting angle was carried out by applying a drop of distilled water to the powder surface. **Results and Discussion.** The dimensional characteristics of the obtained fractions showed that with a milling time (30 min) for the sands of all deposits, the average particle size (d) is 360 ± 45 nm. At the same time, the sands of the Kenitsy and Nekhtskoye deposits have the highest values of specific surface area (S_{sp}). The functional relationship between the S_{sp} of the powders tested and $1/d$ was determined. The resulting linear dependencies were characterized by mathematical expressions of the form $S_{sp} = (a/d) + b$, a where reflects the rate of change in the specific surface value as the average particle diameter of the samples changes; b – is the regression line shift associated with the asymmetric shape of the particles and the non-uniformity (roughness) of the surface. It has been found that as the value of b increases, the degree of inhomogeneity of the surface formed by these particles also increases. Determination of the edge wetting angle of the surface of the powders under study showed that as the grinding time increased, the wetting angle (surface hydrophobicity) increased. So, for the surface of the fine powder of the Nekhtskoye deposit, the wetting edge angle reaches a value (114°) close in magnitude to superhydrophobicity (120°). **Conclusion.** The experiments showed the validity of the proposed working hypothesis related to the possible assessment of surface hydrophobicity by the experimentally determined dependence of $S_{sp} = f(1/d)$. This technique can be used to select mineral powders whose fine systems are capable of hydrophobizing (if necessary hydrophilizing) the surface of the material.

KEY WORDS: polymineral sands, average particle size, specific surface, hydrophobization, edge wetting angle, surface roughness, assessment of hydrophobicity.

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., Shamanina A.V. Evaluation of the possibility to use powders of polymineral silica-containing sands as a hydrophobizing coating. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 222–228. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228.

INTRODUCTION

It is known that an important operational characteristic of many building materials (concrete, wood, mineral

wool, etc.) is their relation to water. Hydrophilicity of the surface of such systems leads to a number of negative consequences, especially when used at alternating temperatures [1, 2]. Therefore, hydrophobization of the surface

of the material is an important task, which at the current level is solved by applying special means (waterproofing mixtures, protective films, impregnations) [3–7]. However, a significant disadvantage of such hydrophobization remains the poor resistance of coatings to environmental temperature differences, oxidative degradation, low environmental friendliness and high cost [8–10].

Recently, a new direction in the creation of protective coatings for materials of various nature has been developed, associated with the use of an emulsion with the content of nano- and microparticles [5], dry mixtures [11], fluorocarbon coatings [12], etc. However, studies show that it is possible to impart (or enhance) water repellent properties to the surface by using polydisperse mineral materials capable of producing a certain (necessary) surface roughness [13–14]. For example, some natural surfaces are characterized by the manifestation of superhydrophobicity, one of the reasons for which is its roughness (“lotus effect”) [13–15].

As hydrophobizing agents of material surface we successfully tested fine powder from polymineral sand, obtained by method of mechanical dispersion [13].

The dominant characteristics of the powder used to impart water repellent properties to the surface are the morphology and particle size (the polydispersity index may not be high) and its specific surface area. At the same time, it is necessary to take into account the fact of the relationship of these characteristics. So, if the particles have a shape close to spherical and exhibit the properties of elastic bodies, the ratio [14, 15] is true:

$$d = 6/(\rho_{real} \cdot S_{sp}), \quad (1)$$

where d – is the average linear particle size, m; ρ_{real} – powder density, kg/m³; S_{sp} – specific surface area, m²/kg.

It follows that the larger the difference between the calculated particle dimension parameter of expression (1) and their experimental value, the morphological structure of the components of the disperse systems will be different from simple spherical symmetry, and, therefore, the more effective, from the point of view of roughness, they are able to form a protective surface composition [16].

A practical solution to the problem of selecting rational powder polymineral systems (sands) can be an experimentally determined functional relationship $S_{sp} = f(1/d)$, based on equation (1), which should be linear in nature. Based on the working hypothesis, the coefficients of these linear equations will make it possible to evaluate the difference in the shape of the powder particles from the spherical one, and, therefore, predict the ability of the powder to form a rough layer on the surface of the material with water repellent properties.

Thus, **the object of the present work** was to determine the functional dependence of the type of $S_{sp} = f(1/d)$ for

powder materials obtained from polymineral sands of various deposits, and to experimentally evaluate the hydrophobicity of the surface formed by these powders.

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.

Dimensional characteristic frequency determiner Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers (“DelsaNano”) methodical photon-correlation spectroscopy. Visual characteristic of forms and dimensional frequencies of opredelena na lazernom analizatore razmera chastits “Lasentec D600” i S400E s system video microscopy of “PVM V819”.

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 measurement of the edge angle of wetting the surface with water was carried out on an Easy Drop unit at a temperature of 25±1°C. The obtained fine powder was applied as a thin layer on a substrate having a polymer base with a surface adhesive based on synthetic rubber. The layer was then uniformly compacted by applying a slide thereon.

To determine the wetting edge angle, a drop of distilled water was applied to the formed powder surface and the steady wetting angle was measured.

RESULTS AND DISCUSSION

The sands of the selected deposits do not differ significantly in modulus of size (M_k) and true density (ρ_{real}) (Table 1).

To obtain fine samples of rocks, the following grinding times were used: 5, 10, 20 and 30 minutes. The results of analysis of the dimensional characteristics of finely dispersed samples after mechanical grinding showed that good reproducibility of the results was achieved under

Table 1

Main characteristics of rocks

Sand deposit	Designation	Mk	Fineness	$\rho_{\text{real}}, \text{kg/m}^3$
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

selected grinding modes. The average particle size characteristics of the obtained powders are shown in Table 2.

The obtained data showed that the selected mode parameters of grinding make it possible to obtain highly dispersed systems of analysed samples of polymineral sands with comparable values of dimensional characteristics. For example, analysis of the obtained fractions with the longest grinding time showed that for all deposits the average particle size is $360 \pm 45 \text{ nm}$.

During the experiments, the specific surface area (S_{sp}) was determined for each obtained fine fraction (Table 3).

The data presented in Table 3 showed that the highest S_{sp} values for the time regime of 30 minutes are typical of the sands of the “Kenitsa” and “Nekhtskoye” deposits.

The difference in specific surface values, with almost equal values of dispersion of the analyzed samples, is explained by the difference in the densities of the materials, the structure of the crystal lattice, porosity and possible morphology of the surface (in addition, possible differ-

ences in the composition of minerals should be taken into account).

According to the working hypothesis, the functional relationship between the specific surface of the powders tested and the inverse value of their average particle size was determined (Figure 1).

The resulting linear dependencies were characterized by mathematical expressions of the form:

$$S_{\text{sp}} = (a/d) + b, \quad (2)$$

where a – is a straight angle reflecting the rate of change of the specific surface value as the average diameter (linear size) of the sample particles changes; b – is the offset of the regression line.

The physical meaning of coefficient b , in our opinion, is associated with the asymmetric shape of the particles (deviation from the shape of the sphere). This fact makes it possible to assume that the value of this coefficient char-

Table 2

Particle sizes of finely dispersed rock samples

Sand deposit	Average particle size (nm) at different grinding times			
	5 min	10 min	20 min	30 min
S1	754 ± 6	643 ± 9	446 ± 3	388 ± 7
S2	672 ± 4	559 ± 5	406 ± 3	329 ± 4
S3	687 ± 5	550 ± 3	467 ± 1	342 ± 2
S4	604 ± 6	511 ± 4	389 ± 2	314 ± 1

Table 3

Specific surface area of highly dispersed rock samples

Sand deposit	Specific surface area (m^2/kg) at different grinding times			
	5 min	10 min	20 min	30 min
S1	8241 ± 17	$10\,140 \pm 23$	$15\,302 \pm 15$	$22\,231 \pm 20$
S2	7819 ± 13	9920 ± 19	$18\,670 \pm 12$	$28\,603 \pm 18$
S3	9101 ± 11	$10\,893 \pm 13$	$16\,384 \pm 11$	$23\,187 \pm 14$
S4	7783 ± 18	8870 ± 17	$20\,854 \pm 15$	$31\,543 \pm 16$

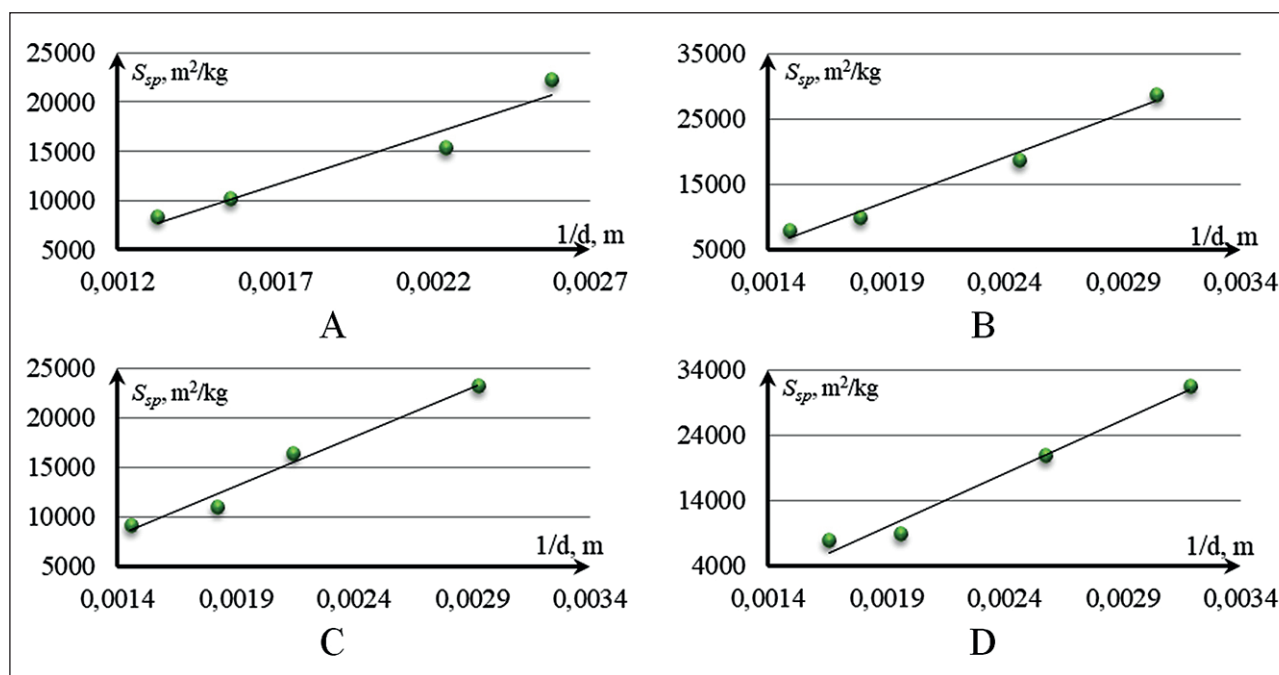


Fig. 1. Functional dependence $S_{sp} = f(1/d)$ for polymineral sands powders: A) "Krasnoflotsky-West" deposit; B) "Kenitsy" deposit; C) "Khromtsovskoye" deposit; D) "Nekhtskoye" deposit

Table 4

Values of coefficients for sands of different deposits

Sand deposit	Coefficients of the linear equation		R^2
	$a \cdot 10^7$	b	
S1	1	6111	0.95
S2	1	13 440	0.98
S3	1	5977	0.98
S4	2	21 030	0.98

acterizes the non-uniformity (roughness) of the surface formed by the powder particles.

For fine samples, the coefficients of these equations are shown in Table 4 (R^2 – approximation validity).

From the obtained data, it follows that as the value of b increases, the degree of roughness of the particles associated with their morphological structure and inhomogeneity of the surfaces formed by these particles increases. This fact was confirmed by the synchronism of the changes in the value of the coefficient b for the powders under study, and the corresponding values of the specific surface.

Figure 2 shows photographs that visually characterize the particle shapes of the studied powders of the fields under consideration.

According to the goal, in the continuation of the studies, an edge wetting angle (θ) was determined for each fine sand sample. Figure 3 shows as an example

photographs of a water drop located on the surface of powders with different particle size characteristics ("Nekhtskoye" deposit).

The obtained photographs showed that as the dispersion time increases, the wetting edge angle of the samples changes. In this case, the hydrophilic surface of the powder ($\theta < 90^\circ$) begins to acquire hydrophobic properties ($\theta > 90^\circ$).

Table 5 shows the experimentally determined values of the wetting edge angle of the polymineral sands fine powders tested and the corresponding values of the free term (b) of the linear expression (2).

The presented results show that for the mineral powder systems under study, the wetting angle (surface hydrophobicity) increases with increasing grinding time (and therefore decreased particle size characteristics). In our opinion, this is due to the formation of a tighter package

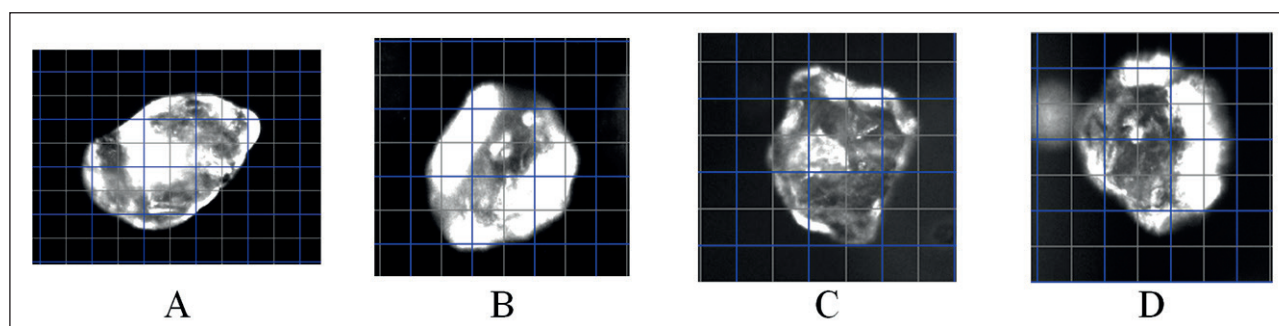


Fig. 2. Particle shape of fine sand samples (grinding time 30 minutes): A) “Krasnoflotsky-West” deposit; B) “Kenitsy” deposit; C) “Khromtsovskoye” deposit; D) “Nekhtskoye” deposit

Table 5

Change of coefficient b depending on wetting angle θ

Powder	Coefficient b	Wetting angle (θ°) for samples with grinding time			
		5 min	10 min	20 min	30 min
S1	6111	12.6	44.3	59.8	90.4
S2	13 440	10.6	39.7	77.8	98.4
S3	5977	13.7	50.8	60.9	97.6
S4	21 030	11.8	33.9	85.8	114.3

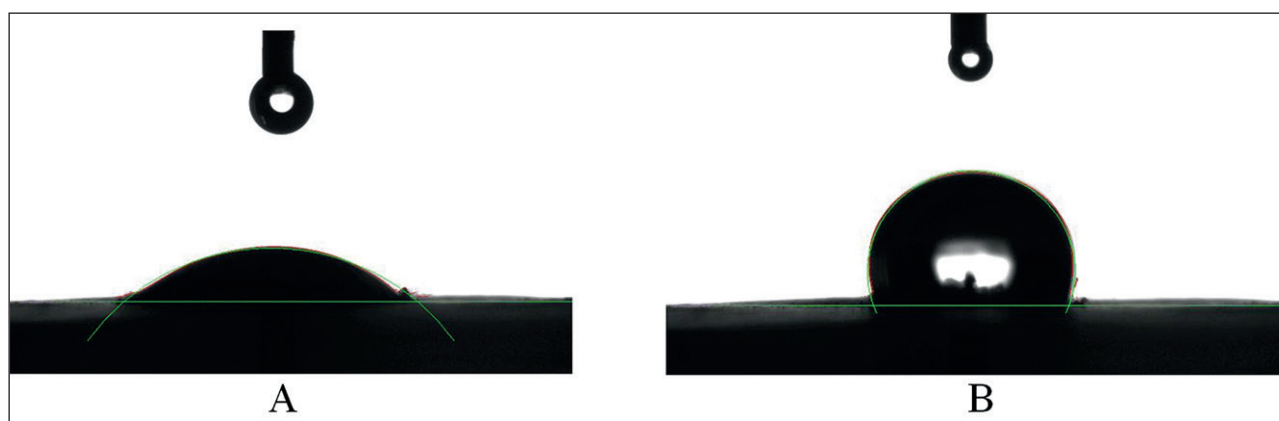


Fig. 3. Water drop on the surface of fine powder: A) 604 nm fraction (grinding time 5 min); B) 314 nm fraction (milling time 30 min)

of particles on the surface of the substrate and its definite roughness due to the angular shape of the particles while reducing their linear size. Figure 4 shows the functional relationship of type $b = f(\theta)$ for the series of experiments combined by powders of a certain deposit, but obtained at different grinding times.

These results show that the surface of the fine test powders has the ability to increase their hydrophobicity. So, for these systems, a positive correlation between parameter b and the edge wetting angle is observed (Fi-

gure 4, lines 3 and 4). For surfaces formed by powder systems with larger particle dimensional characteristics, there is a negative correlation (Figure 4, line 2) between these parameters or there is no such functional connection (Figure 4, line 1).

In addition, it can be noted that for the surface of the fine powder formed by the polymineral sand of the “Nekhtskoye” deposit, the wetting edge angle reaches a value (114°) close in magnitude to superhydrophobicity (120°).

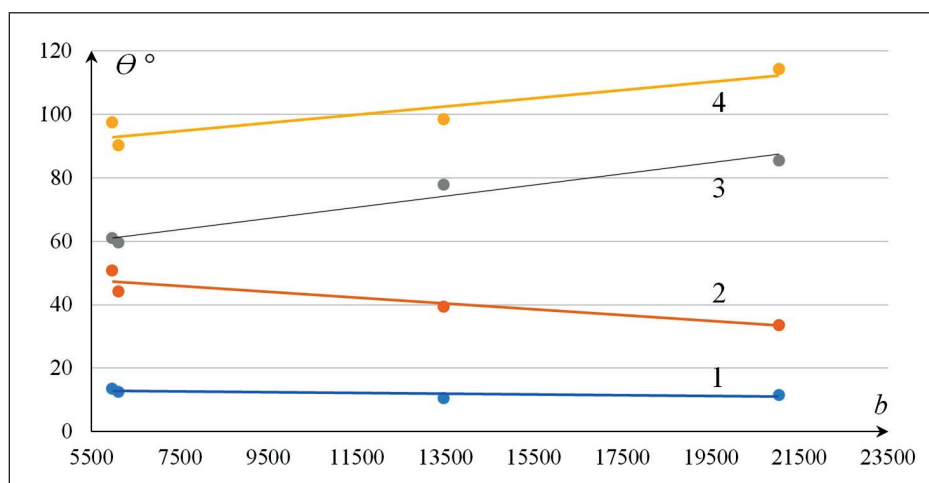


Fig. 4. Dependence of variation of wetting edge angle on specific surface value of fine sand powders: 1) grinding time 5 minutes; 2) grinding time 10 minutes; 3) grinding time 20 minutes; 4) grinding time 30 min.

CONCLUSION

The experiments showed the validity of the proposed working hypothesis related to the possible assessment of surface hydrophobicity by the experimentally determined dependence of $S_{sp} = f(1/d)$. This technique can be used to select mineral powders whose fine systems

are capable of hydrophobizing (if necessary hydrophilizing) the surface of the material. It should be noted that hydrophobizers based on polymineral sands are characterized by high environmental friendliness and their production is not associated with the implementation of complex technological processes and the high cost of raw material.

REFERENCES

1. Yakovleva M.Ya. Protection of construction structures against water-salt loads. *Roofing and insulation materials*. 2015; 4: 32–35. (In Russian).
2. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Manohina Yu.V., Hrunov V.A. Mathematical modeling of the initial periods of corrosion destruction of the first type of cement concrete. *Architecture. Construction. Education*. 2013; 2: 210–221.
3. Baranov O.V., Komarova L.G., Golubkov S.S. Hydrophobic coatings based on octyltriethoxysiloxane. *News of the Academy of Sciences. Chemical Series*. 2020; 6: 1165–1168.
4. Kravets L.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Gaynutdinov R.V., Altyinov V.A., Lizunov N.E. Formation of hydrophobic coatings on the surface of track membranes by electron beam dispersion of polyvinyl chloride in vacuum. *Nanoindustrium*. 2021; 14(S6): 44–54.
5. Kozhuhova M.I., Chulkova I.L., Harhardin A.N., Sobolev K.G. Evaluation of the effectiveness of the use of hydrophobic aqueous emulsions with the content of nano- and micro-sized particles for modifying fine-grained concrete. *Construction materials*. 2017; 5: 92–97.
6. Loganina V.I., Sergeeva K.A. Assessment of superhydrophobic properties of acrylic resin-based coatings. *Regional architecture and construction*. 2020; 1(42): 98–103.
7. Massalimov I.A., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Akhmetshin B.S., Urakaev F.H., Burkitbaev M.M., Mustafin A.G. Longterm protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(3): 276–287. Available from: doi: [10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287).
8. Li K., Wang Y., Zhang X., Wu J., Wang X., Zhang A. Multifunctional magnesium oxychloride based composite with stable superhydrophobicity, self-luminescence and reusability. *Construction and Building Materials*. 2021; 286. Available from: doi: [10.1016/j.conbuildmat.2021.122978](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122978).

9. Rudakova A.V., Emeline A.V., Romanychev A.I., Bahnmann D.W. Photoinduced hydrophilic behavior of TiO₂ thin film on si substrate. *Journal of Alloys and Compounds*. 2021; 872. Available from: [doi: 10.1016/j.jallcom.2021.159746](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159746).
10. Tian J., Zhao Y., Wu L., Deng X., Zhao Z., Zhang C. Preparation of refreshable membrane by partially sacrificial hydrophilic coating. *Journal of Materials Science*. 2021; 56(17): 10676–10690. Available from: [doi: 10.1007/s10853-021-05960-9](https://doi.org/10.1007/s10853-021-05960-9).
11. Orekhov S.A., Dergunov S.A., Rubisova V.N. *Erhöhung der Effektivität der Anwendung der hydrophoben Zusätze in den Bindemittel auf Zementbasis*. Internationale Baustofftagung Die 18. Ibausil – Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar. 2012; 1.07.
12. Zheng H., Liu L., Meng F., Cui Y., Li Z., Oguzie E.E., Wang F. Multifunctional superhydrophobic coatings fabricated from basalt scales on a fluorocarbon coating base. *Journal of Materials Science and Technology*. 2021; (84): 86–96. Available from: [doi: 10.1016/j.jmst.2020.12.022](https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.12.022).
13. Blushan B. (ed.). *Springer's Handbook on Nanotechnology*. 2nd ed. Moscow: Technosphere; 2010.
14. Lidiya Mishchenko, Benjamin Hatton, Vaibhav Bahadur, J. Ashley Taylor, Tom Krupenkin, Joanna Aizenberg. Design of Ice-free Nanostructured Surfaces Based on Repulsion of Impacting Water Droplets. *Nanoletters*. 2010; 4(12): 7699–7707.
15. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M. Integrated approach to the assessment of nanoscale fractions of polydisperse systems of crushed rocks. *Nanotechnologies in Construction*. 2016; 8(3): 97–110. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110).
16. Summ B.D. Hysteresis of wetting. *Soros educational journal*. 1999; (7): 98–102.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina V. Morozova, Cand. Sci. (Eng.), Researcher, 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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8497-9786>, e-mail: m.morozova@narfu.ru

Arkady M. Ayzenshtadt, Dr. Sci. (Eng.), 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) Lomonosov Federal University, Arkhangelsk, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2904-2549>, e-mail: a.isenshtadt@narfu.ru

Marina V. Akulova, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Construction Materials Science and Technology, Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5911-7164>, e-mail: m_akulova@mail.ru

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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-5066>, e-mail: m.aizenstadt@narfu.ru

Aleksandra V. Shamanina, Graduate Student of the Department of Composite Materials and Construction Ecology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1084-4349>, e-mail: alexandra.shamanina@yandex.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 30.06.2021.

Revised: 21.07.2021.

Accepted: 26.07.2021.



Оценка возможности использования порошков полиминеральных кремнеземсодержащих песков в качестве гидрофобизирующего покрытия

М.В. Морозова^{1,2*} , А.М. Айзенштадт² , М.В. Акулова¹ , М.А. Фролова² , А.В. Шаманина² 

¹ Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

*Контакты: e-mail: m.morozova@narfu.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Важной эксплуатационной характеристикой многих строительных материалов является отношение их к воде. Поэтому гидрофобизация поверхности материала является важной задачей, которая на современном уровне решается за счет нанесения специальных средств. Установлено, что можно придать водоотталкивающие свойства поверхности за счет применения полидисперсных минеральных материалов, способных образовывать шероховатую поверхность. В качестве гидрофобизата предложено использовать тонкодисперсный порошок из полиминерального песка. Выявленная функциональная взаимосвязь между удельной поверхностью и величиной среднего диаметра частиц порошков, имеющая линейный характер, позволяет оценить их морфологическое строение и спрогнозировать способность порошка образовывать шероховатый слой, усиливающий водоотталкивающие свойства поверхности. **Методы и материалы.** В качестве сырьевых материалов выбраны четыре месторождения полиминеральных песков. Отобранные пробы промывали и высушивали. Затем определяли модуль крупности и истинную плотность. Для получения высокодисперсных порошков сырьевой материал измельчали методом сухого диспергирования. Размерные характеристики частиц определяли методом фотонно-корреляционной спектроскопии. Визуальная характеристика формы и размера частиц определена на лазерном анализаторе. Удельную поверхность высокодисперсных систем горных пород определяли методом сорбции газа, по теории БЭТ. Измерение краевого стационарного угла смачивания осуществлялось путем нанесения капли дистиллированной воды на поверхность порошка. **Результаты и обсуждение.** Размерные характеристики полученных фракций показали, что при продолжительности помола (30 мин) для песков всех месторождений средний размер частиц (d) составляет 360 ± 45 нм. При этом наибольшими значениями удельной поверхности (S_{sp}) обладают пески месторождений «Кеницы» и «Нехтское». Определена функциональная взаимосвязь между S_{sp} испытуемых порошков и $1/d$. Полученные линейные зависимости были охарактеризованы математическими выражениями вида $S_{sp} = (a/d) + b$, где a отражает скорость изменения величины удельной поверхности по мере изменения среднего диаметра частиц образцов; b – сдвиг линии регрессии, связанный с несимметричной формой частиц и неоднородностью (шероховатостью) поверхности. Установлено, что при возрастании величины b увеличивается и степень неоднородности поверхности, образованная этими частицами. Определение краевого угла смачивания поверхности исследуемых порошков показало, что с увеличением времени помола угол смачивания (гидрофобность поверхности) увеличивается. Так, для поверхности тонкодисперсного порошка месторождения «Нехтское» краевой угол смачивания достигает значения (114°), близкого по величине к супергидрофобности (120°). **Заключение.** Проведенные эксперименты показали справедливость предложенной рабочей гипотезы, связанной с возможной оценкой гидрофобности поверхности по экспериментально определенной зависимости $S_{sp} = f(1/d)$. Данный прием можно использовать для подбора минеральных порошков, тонкодисперсные системы которых способны проводить гидрофобизацию (при необходимости гидрофилизацию) поверхности материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полиминеральные пески, средний размер частиц, удельная поверхность, гидрофобизация, краевой угол смачивания, шероховатость поверхности, оценка гидрофобности.

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., Шаманина А.В. Оценка возможности использования порошков полиминеральных кремнеземсодержащих песков в качестве гидрофобизирующего покрытия // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 4. – С. 222–228. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что важной эксплуатационной характеристикой многих строительных материалов (бетон, древесина, минеральная вата и пр.) является отношение их к воде. Гидрофильность поверхности таких систем приводит к целому ряду негативных последствий, особенно в условиях их использования при знакопеременной температуре [1, 2]. Поэтому гидрофобизация поверхности материала является важной задачей, которая на современном уровне решается за счет нанесения специальных средств (гидроизоляционные смеси, защитные пленки, пропитки) [3–7]. Однако существенным недостатком такой гидрофобизации остается слабая устойчивость покрытий к температурным перепадам окружающей среды, окислительная деструкция, низкая экологичность и высокая стоимость [8–10].

В последнее время получило развитие новое направление в создании защитных покрытий для материалов различной природы, связанное с применением эмульсии с содержанием нано- и микрочастиц [5], сухих смесей [11], фторуглеродных покрытий [12] и др. Вместе с тем, исследования показывают, что можно придать (или усилить) водоотталкивающие свойства поверхности за счет применения полидисперсных минеральных материалов, способных создавать определенную (необходимую) шероховатость поверхности [13–14]. Так, например, некоторым природным поверхностям свойственно проявление супергидрофобности, одна из причин которой заключается в ее шероховатости («эффект лотоса») [13–15].

В качестве гидрофобизаторов поверхности материала нами успешно опробован тонкодисперсный порошок из полиминерального песка, полученный методом механического диспергирования [13].

Доминирующими характеристиками порошка, используемого с целью придания поверхности водоотталкивающие свойства, являются морфология и размеры частиц (причем индекс полидисперсности может быть невысоким), и его удельная поверхность. При этом необходимо принимать во внимание факт взаимосвязи этих характеристик. Так, если частицы имеют форму, близкую к сферической и проявляют свойства упругих тел, справедливо соотношение [14, 15]:

$$d = 6/(\rho_{\text{ист}} \cdot S_{\text{сп}}), \quad (1)$$

где d — средний линейный размер частиц, м; $\rho_{\text{ист}}$ — плотность порошка, кг/м³; $S_{\text{сп}}$ — удельная поверхность, м²/кг.

Отсюда следует, что чем значительнее разница между расчетным параметром размерности частиц по выражению (1) и их экспериментальным значением, тем морфологическое строение составных

частей дисперсных систем будет отличным от простой сферической симметрии, а следовательно, тем эффективнее, с точки зрения шероховатости, они способны образовывать защитную поверхностную композицию [16].

Практическим решением задачи выбора рациональных порошковых полиминеральных систем (песков) может являться экспериментально определенная функциональная взаимосвязь $S_{\text{сп}} = f(1/d)$, основанная на уравнении (1), которая должна иметь линейный характер. Исходя из рабочей гипотезы, коэффициенты данных линейных уравнений дадут возможность оценить отличие формы частиц порошка от сферической, а следовательно, прогнозировать способность порошка образовывать шероховатый слой на поверхности материала, обладающий водоотталкивающими свойствами.

Таким образом, целью настоящей работы явилось определение функциональной зависимости вида $S_{\text{сп}} = f(1/d)$ для порошковых материалов, полученных из полиминеральных песков различных месторождений, и экспериментальная оценка гидрофобности поверхности, образованной этими порошками.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве сырьевых материалов для исследования выбраны четыре месторождения полиминеральных строительных песков: месторождения «Краснофлотский-Запад» и «Кеницы» (Архангельская область), «Хромцовское» месторождение (с. Хромцово) и «Нехтское» (с. Тетеринское, Нерехтский район). Два последних месторождения расположены в Ивановской области.

Перед началом экспериментов песок промывали и высушивали до постоянной массы при температуре 105°C. Модуль крупности песков и их истинную плотность (пикнометрическим методом) определяли по ГОСТ 8735-88.

Для получения высокодисперсных порошков горных пород пробы сырьевого материала измельчали до высокодисперсного состояния методом сухого диспергирования в планетарной шаровой мельнице «Retsch PM100» с использованием размольной гарнитуры из карбидвольфрама. Опытным путем были подобраны оптимальные режимные параметры диспергирования, позволяющие получать воспроизводимый размер частиц с удовлетворительным значением полидисперсности полученных фракций.

Размерные характеристики частиц определяли на анализаторе «Delsa Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers» («DelsaNano») методом фотонно-корреляционной спектроскопии. Визуальная характеристика формы и размера частиц определена на лазерном анализаторе размера частиц

«Lasentec D600» и «S400E» с системой видеомикроскопии «PVM V819».

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

Измерение краевого угла смачивания поверхности водой проводили на установке «Easy Drop» при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Полученный высокодисперсный порошок наносили в виде тонкого слоя на подложку, имеющую полимерную основу с поверхностным адгезивом на основе синтетического каучука. Затем этот слой равномерно уплотняли путем наложения на него предметного стекла.

Для определения краевого угла смачивания на сформированную поверхность порошка наносили каплю дистиллированной воды и измеряли стационарный угол смачивания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пески выбранных месторождений незначительно отличаются по модулю крупности (M_k) и истинной плотности ($\rho_{\text{ист}}$) (табл. 1).

Таблица 1

Основные характеристики горных пород

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

Таблица 2

Размеры частиц высокодисперсных образцов горных пород

Месторождение песка	Средние размеры частиц (нм) при разном времени измельчения			
	5 мин.	10 мин.	20 мин.	30 мин.
П1	754±6	643±9	446±3	388±7
П2	672±4	559±5	406±3	329±4
П3	687±5	550±3	467±1	342±2
П4	604±6	511±4	389±2	314±1

Таблица 3

Удельная поверхность высокодисперсных образцов горных пород

Месторождение песка	Удельная поверхность (м ² /кг) при различной продолжительности помола			
	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

Для получения тонкодисперсных образцов горных пород были использованы следующие продолжительности помола: 5, 10, 20 и 30 мин. Результаты анализа размерных характеристик высокодисперсных образцов после механического размолва показали, что при выбранных режимах измельчения достигается хорошая воспроизводимость результатов. Усредненные размерные характеристики частиц полученных порошков приведены в табл. 2.

Полученные данные показали, что выбранные режимные параметры помола позволяют получать высокодисперсные системы исследуемых образцов полиминеральных песков со сравнимыми значениями размерных характеристик. Так, например, анализ полученных фракций с наибольшей продолжительностью помола показал, что для всех месторождений средний размер частиц составляет 360 ± 45 нм.

В продолжение экспериментов для каждой полученной высокодисперсной фракции была определена величина удельной поверхности (S_{sp}) (табл. 3).

Данные, представленные в табл. 3, показали, что наибольшие значения S_{sp} для временного режима

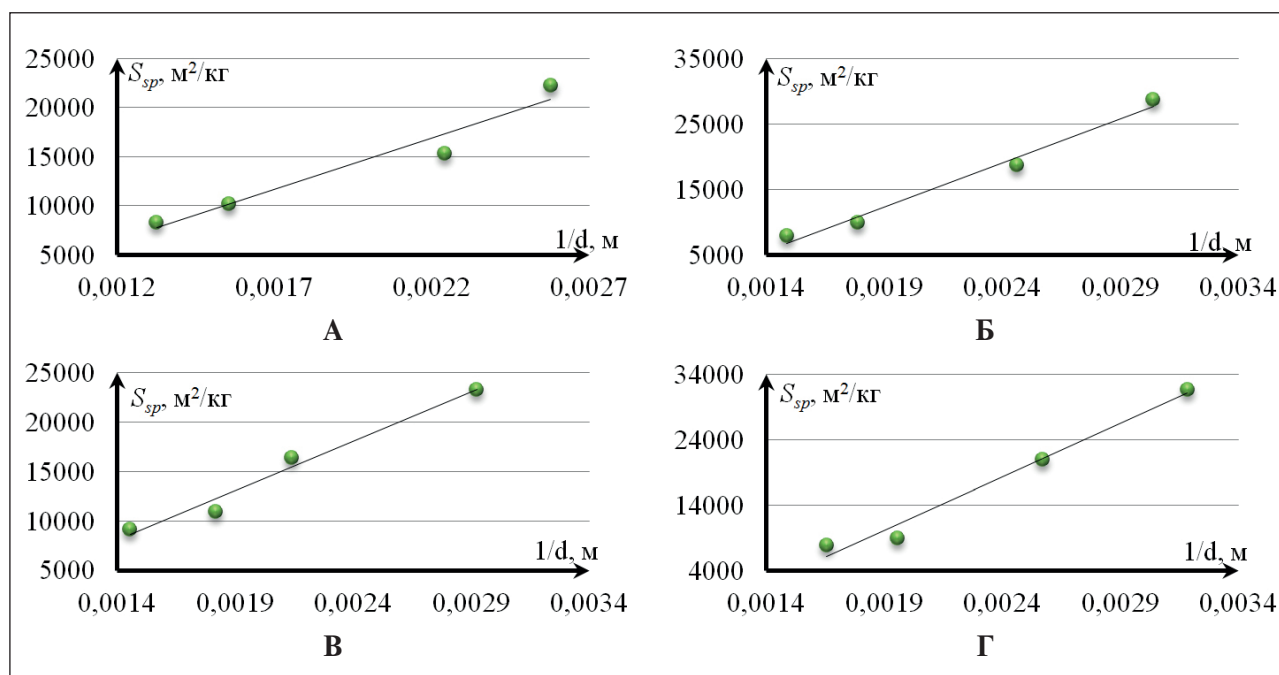


Рис. 1. Функциональная зависимость $S_{sp} = f(1/d)$ для порошков полиминеральных песков:
а) месторождение «Краснофлотский-Запад»; б) месторождение «Кеницы»; в) месторождение «Хромцовское»; г) месторождение «Нехтское»

помола, равного 30 мин, характерны пескам месторождений «Кеницы» и «Нехтское».

Разница в величинах удельной поверхности при практически равных значениях дисперсности анализируемых образцов объясняется отличием плотностей материалов, строением кристаллической решетки, пористостью и возможной морфологией поверхности (кроме того, надо учесть возможные отличия и в составе минералов).

Согласно рабочей гипотезе, была определена функциональная взаимосвязь между удельной поверхностью испытуемых порошков и обратной величиной среднего размера их частиц (рис. 1).

Полученные линейные зависимости были охарактеризованы математическими выражениями вида:

$$S_{sp} = (a/d) + b, \quad (2)$$

где a — угол наклона прямой, отражающий скорость изменения величины удельной поверхности по мере изменения среднего диаметра (линейного размера) частиц образцов; b — сдвиг линии регрессии.

Физический смысл коэффициента b , по нашему мнению, связан с несимметричной формой частиц (отклонением от формы сферы). Данный факт дает возможность предположить, что величина этого коэффициента характеризует неоднородность (шероховатость) поверхности, образованной частицами порошка.

Для тонкодисперсных образцов коэффициенты этих уравнений представлены в табл. 4 (R^2 — достоверность аппроксимации).

Из полученных данных следует, что при возрастании величины b увеличивается степень шерохо-

Таблица 4

Значения коэффициентов для песков разных месторождений

Месторождение песка	Коэффициенты линейного уравнения		R^2
	$a \cdot 10^7$	b	
П1	1	6111	0.95
П2	1	13 440	0.98
П3	1	5977	0.98
П4	2	21 030	0.98

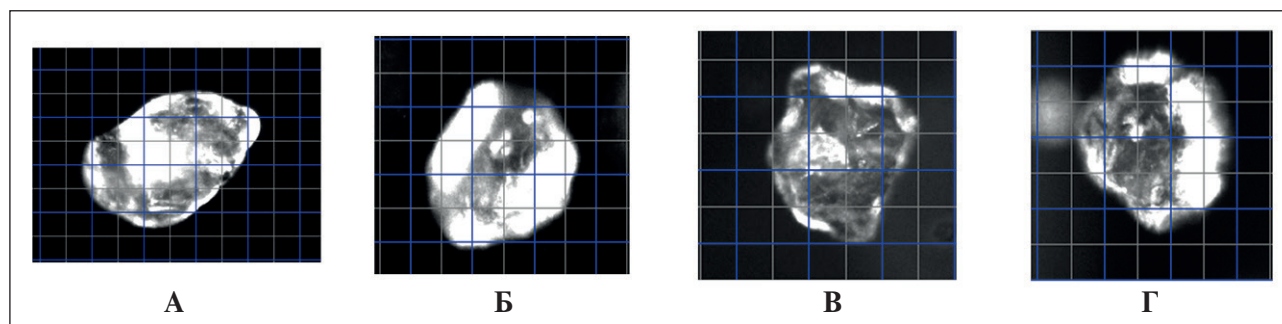


Рис. 2. Форма частиц высокодисперсных образцов песка (время помола 30 минут):

а) месторождение «Краснофлотский-Запад»; б) месторождение «Кеницы»; в) месторождение «Хромцовское»; г) месторождение «Нехтское»

ватости частиц, связанная с их морфологическим строением и неоднородностью образованными этими частицами поверхностями. Данный факт нашел свое подтверждение в синхронности изменений величины коэффициента b для исследуемых порошков и соответствующих значений удельной поверхности.

На рис. 2 представлены фотографии, визуально характеризующие формы частиц исследуемых порошков рассматриваемых месторождений.

Согласно поставленной цели в продолжение исследований был определен краевой угол смачивания (θ) для каждой высокодисперсной пробы песка. На рис. 3 в качестве примера представлены фотографии капли воды, расположенной на поверхности порошков с разными размерными характеристиками частиц (месторождение «Нехтское»).

Полученные фотографии показали, что при увеличении времени диспергирования краевой угол смачивания образцов изменяется. При этом гидрофильная поверхность порошка ($\theta < 90^\circ$) начинает приобретать свойства гидрофобной ($\theta > 90^\circ$).

В табл. 5 представлены экспериментально определенные величины краевого угла смачивания исследуемых высокодисперсных порошков полиминеральных песков и соответствующие значения свободного члена (b) линейного выражения (2).

Представленные результаты показывают, что для исследуемых минеральных порошковых систем с увеличением времени помола (а следовательно, и с уменьшением размерных характеристик частиц) угол смачивания (гидрофобность поверхности) увеличивается. По нашему мнению, это связано с образованием более плотной упаковки частиц на поверхности подложки и ее определенной шероховатостью за счет краеугольной формы частиц при уменьшении их линейного размера. На рис. 4 представлена функциональная зависимость вида $b = f(\theta)$ для серий эксперимента, объединенных по порошкам определенного месторождения, но полученных при разном времени помола.

Данные результаты показывают, что поверхность тонкодисперсных исследуемых порошков обладает

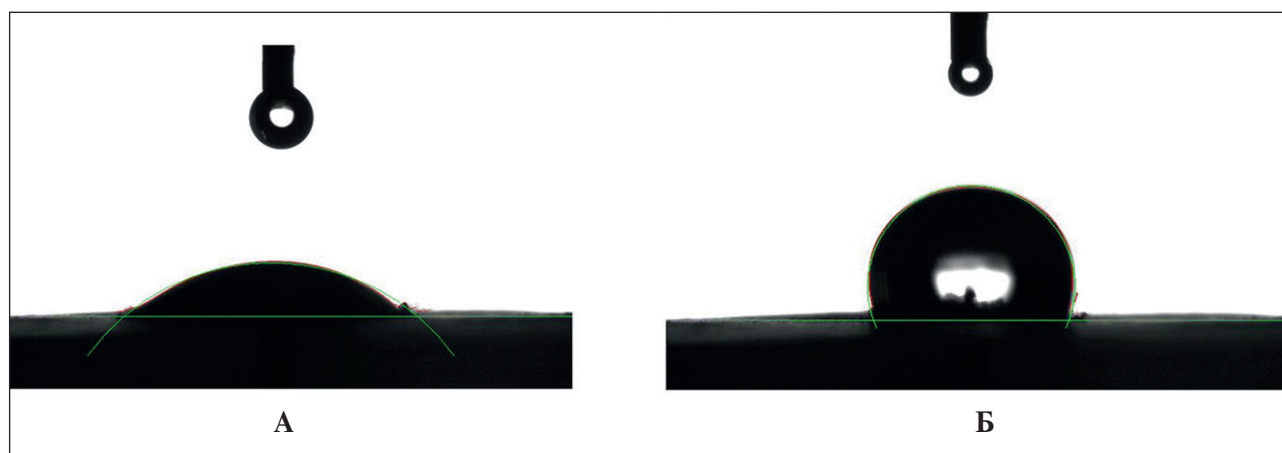


Рис. 3. Капля воды на поверхности высокодисперсного порошка: а) фракция 604 нм (время измельчения 5 мин); б) фракция 314 нм (время измельчения 30 мин)

Таблица 5

Изменение коэффициента b в зависимости от угла смачивания θ

Порошок	Коэффициент b	Угол смачивания (θ°) для образцов с временем помола			
		5 мин.	10 мин.	20 мин.	30 мин.
П1	6111	12,6	44,3	59,8	90,4
П2	13440	10,6	39,7	77,8	98,4
П3	5977	13,7	50,8	60,9	97,6
П4	21030	11,8	33,9	85,8	114,3

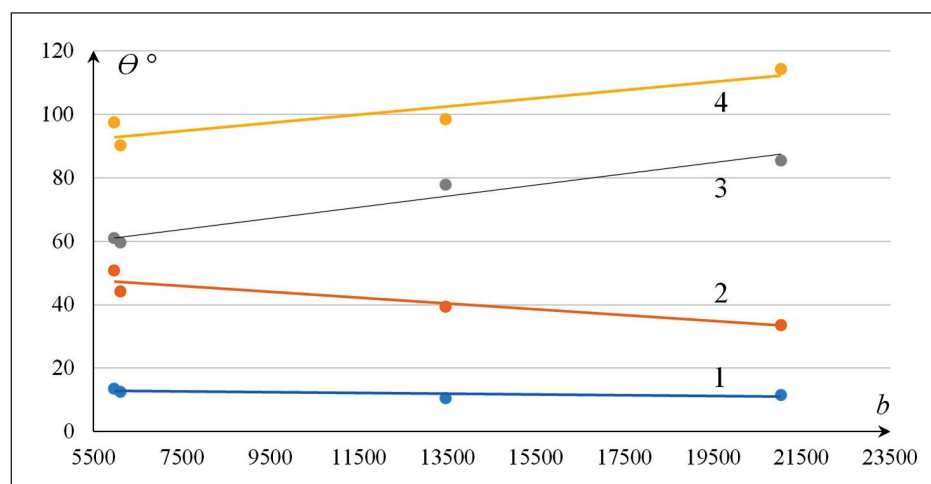


Рис. 4. Зависимость изменения краевого угла смачивания от величины удельной поверхности высокодисперсных порошков песка: 1) время измельчения 5 мин.; 2) время измельчения 10 мин.; 3) время измельчения 20 мин.; 4) время измельчения 30 мин.

способностью увеличивать свою гидрофобность. Так, для этих систем наблюдается положительная корреляционная зависимость между параметром b и краевым углом смачивания (рис. 4, линии 3 и 4). Для поверхностей, образованных порошковыми системами с более крупными размерными характеристиками частиц, отмечается отрицательная корреляция (рис. 4, линия 2) между этими параметрами или же такая функциональная связь отсутствует (рис. 4, линия 1).

Кроме того, можно отметить, что для поверхности тонкодисперсного порошка, образованной полиминеральным песком месторождения «Нехтское», краевой угол смачивания достигает значения (114°), близкого по величине к супергидрофобности (120°).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные эксперименты показали справедливость предложенной рабочей гипотезы, связанной с возможной оценкой гидрофобности поверхности по экспериментально определенной зависимости $S_{sp} = f(1/d)$. Данный прием можно использовать для подбора минеральных порошков, тонкодисперсные системы которых способны проводить гидрофобизацию (при необходимости гидрофилизацию) поверхности материала. Необходимо отметить, что гидрофобизаторы на основе полиминеральных песков характеризуются высокой экологичностью, и их получение не связано с реализацией сложных технологических процессов и дороговизной сырьевого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева М.Я. Защита строительных сооружений от водно-солевых нагрузок // Кровельные и изоляционные материалы. — 2015. — № 4. — С. 32–35.
2. Федосов С.В., Румянцев В.Е., Красильников И.В., Манохина Ю.В., Хрунов В.А. Математическое моделирование начальных периодов коррозионной деградации первого вида цементных бетонов // Архитектура. Строительство. Образование. — 2013. — № 2. — С. 210–221.

3. Баранов О.В., Комарова Л.Г., Голубков С.С. Гидрофобные покрытия на основе октилтриэтоксисилоксана // Известия Академии наук. Серия химическая. — 2020. — № 6. — С. 1165–1168.
4. Кравец Л.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А., Гайнутдинов Р.В., Алтынов В.А., Лизунов Н.Е. Формирование на поверхности трековых мембран гидрофобных покрытий методом электронно-лучевого диспергирования поливинилхлорида в вакууме // Наноиндустрия. — 2021. — № 14(S6). — С. 44–54.
5. Кожухова А., Чулкова И.Л., Хархардин А.Н., Соболев К.Г. Оценка эффективности применения гидрофобных водных эмульсий с содержанием нано- и микроразмерных частиц для модификации мелкозернистого бетона // Строительные материалы. — 2017. — № 5. — С. 92–97.
6. Логанина В.И., Сергеева К.А. Оценка супергидрофобных свойств покрытий на основе акриловой смолы // Региональная архитектура и строительство. — 2020. — № 1(42). — С. 98–103.
7. Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М., Мустафин А.Г. Долговременная защита строительных конструкций с использованием наноразмерных покрытий на основе серы // Нанотехнологии в строительстве. — 2019. — Т. 11, № 3. — С. 276–287. — DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-28](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-28).
8. Li K., Wang Y., Zhang X., Wu J., Wang X., Zhang A. Multifunctional magnesium oxychloride based composite with stable superhydrophobicity, self-luminescence and reusability. *Construction and Building Materials*. 2021; 286. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122978](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122978).
9. Rudakova A.V., Emeline A.V., Romanychev A.I., Bahnemann D.W. Photoinduced hydrophilic behavior of TiO₂ thin film on si substrate. *Journal of Alloys and Compounds*. 2021; 872. Available from: [doi: 10.1016/j.jallcom.2021.159746](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159746).
10. Tian J., Zhao Y., Wu L., Deng X., Zhao Z., Zhang C. Preparation of refreshable membrane by partially sacrificial hydrophilic coating. *Journal of Materials Science*. 2021; 56(17): 10676–10690. Available from: [doi: 10.1007/s10853-021-05960-9](https://doi.org/10.1007/s10853-021-05960-9).
11. Orekhov S.A., Dergunov S.A., Rubisova V.N. *Erhöhung der Effektivität der Anwendung der hydrophoben Zusätze in den Bindemittel auf Zementbasis*. Internationale Baustofftagung Die 18. Ibausil — Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar. 2012; 1.07.
12. Zheng H., Liu L., Meng F., Cui Y., Li Z., Oguzie E.E., Wang F. Multifunctional superhydrophobic coatings fabricated from basalt scales on a fluorocarbon coating base. *Journal of Materials Science and Technology*. 2021; (84): 86–96. Available from: [doi: 10.1016/j.jmst.2020.12.022](https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.12.022).
13. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям [Текст] : (в 3 т.) / Федеральное гос. учреждение Науч.-произв. комплекс «Технологический центр» Московского гос. ин-та электронной техники; под ред. Б. Бхушана; пер. с англ. под общ. ред. А.С. Саурова. — 2-е изд. — Москва : Техносфера, 2010. — Т. 3. — 831.
14. Lidiya Mishchenko, Benjamin Hatton, Vaibhav Bahadur, J. Ashley Taylor, Tom Krupenkin, Joanna Aizenberg. Design of Ice-free Nanostructured Surfaces Based on Repulsion of Impacting Water Droplets. *Nanoletters*. 2010; 4(12): 7699–7707.
15. Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Комплексный подход к оценке наноразмерных фракций полидисперсных систем измельченных горных пород // Нанотехнологии в строительстве. — 2016. — Т. 8, № 3. — С. 97–110. — DOI: [10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110).
16. Сумм Б.Д. Гистерезис смачивания // Соросовский образовательный журнал. — 1999. — № 7. — С. 98–102.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2904-2549>, e-mail: a.isenshtadt@narfu.ru

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

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

Шаманина Александра Валерьевна, аспирант кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1084-4349>, e-mail: alexandra.shamanina@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 30.06.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 21.07.2021.

Статья принята к публикации: 26.07.2021.



Compatibilization of polymer mixtures during processing of waste products from thermoplastics

N.N. Fomina^{1*} , V.G. Khozin²

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

² Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

* Corresponding author: e-mail: fominanani@yandex.ru

ABSTRACT: Introduction. The recycling of thermoplastic waste into building materials with a long-life cycle is a promising and technologically feasible disposal direction. It is advisable to develop the processing of mixed polymer waste. Thermoplastics are thermodynamically incompatible, and technological compatibility can be controlled at the melt stage by the introduction of compatibilizers and nanofillers, the formation of free radicals in the melt, and reaction compatibilization. **Materials and methods.** The work aimed to study the effect of a compatibilizer – an ethylene-vinyl acetate copolymer with grafted acrylate and epoxy groups on the properties of composites obtained from mixtures of polyethylene terephthalate and polypropylene waste. The polymer mixture was melted, filled with limestone flour (50–85 wt.%), the samples were pressed, and their physical and mechanical properties were investigated. **Results and discussion, conclusions.** Differential thermal analysis established the melt preparation temperature of 240°C, which is below the onset of thermal oxidative destruction of the compatibilizer. It was established that the optimal ratio of polyethylene terephthalate: polypropylene: compatibilizer as 70:25:5 wt.% provided the greatest improvement in the bending strength without compromising the compressive strength of filled composites; the optimal degree of filling was found to be 60–70%. The volume fractions of polymers in the mixture are comparable. Therefore, one can expect the formation of both the matrix structure of the composite and the interpenetrating networks type structures. In both cases, the compatibilizer is distributed along the interphase boundaries. Its effect on properties can be attributed to its plastic deformation in the interfacial layer and morphological changes in the structure of the polymer mixture. There is evidence of increased structure-sensitive properties, tensile and tensile strength, of polymer mixtures containing this compatibilizer. This fact indicates an increase in adhesion between polymer phases, which is difficult to explain only for physical reasons. Possible reactions between the functional groups of the compatibilizer and polyethylene terephthalate in the melt with epoxy ring opening were analyzed. An increased effect of compatibility was revealed; however, the actual effectiveness of the compatibilizer is difficult to assess. Additional mechanical tests are required as well as optimization of the melt temperature. It is also necessary to find a balance between activating the reaction compatibilization and minimizing destructive processes in polymers.

KEY WORDS: polymer waste, recycling, nanofillers, polyethylene terephthalate, polypropylene, compatibilization

FOR CITATION: Fomina N.N., Khozin V.G. Compatibilization of polymer mixtures during processing of waste products from thermoplastics. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 229–236. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-229-236.

1. INTRODUCTION

In recent decades, the disposal of polymer waste has become a serious environmental problem throughout the world [1–4]. Following the basic principles of the circular economy [5], recycling has become the most desirable strategy for the disposal of polymer waste. Recycling of thermoplastic waste into building materials through remelting, filling (optional), and molding (by extrusion or pressing) of products with a long-life cycle is a promising

and technologically feasible direction, given the variability of the composition of polymer waste, their pollution, and as a result the labor intensity of more high-tech processing [6–10].

At present, the secondary recycling of polymer waste is underdeveloped both in Russia [4, 9–11] and abroad [1, 5–8, 12]. The main constraints are the relatively low cost of virgin polymers, contamination of waste and the need for their careful sorting, partial structural degradation of waste and the presence of low-molecular fraction. More-

over, even sorted polymer waste most often is a mixture of polymers. In fact, the main polymer product of waste sorting factories is plastic beverage bottles consisting of polyethylene terephthalate (PET), but the label on them, as a rule, is made of polypropylene (PP), the cap is made of high-density polyethylene (HDPE). Therefore, with the development of recycling technologies, it is advisable to focus on the processing of mixed polymer waste.

The theory of compatibility of polymer mixtures was developed by Flory [13] and Huggins [14] in the first half of the 20th century. In Russia, the science dealing with polymer mixtures was developed in the fundamental works of Lipatov, Kuzeznev, Tager, and Berlin. The results of foreign researchers are summarized in monographs by Paul [15] and Bucknall [16]. It is known from these works and many others, including modern studies [12, 17–24], that due to the low entropy of mixing and weak adhesion at the interphase boundaries, the compatibility and miscibility of thermoplastic polymers are rather an exception and not the rule. A mixture of thermoplastics can be characterized as a composite material with a developed phase boundary. In addition, if thermodynamically thermoplastics are incompatible, it is possible to control the technological compatibility of their mixtures in the melt. Currently, there are several directions for the development of research.

The traditional direction is the introduction into the mixture of an additional combining agent – compatibilizer, mainly of a polymer type (as a rule, these are block or graft copolymers, less often statistical). Compatibilizers reduce the surface energy of incompatible polymers, reduce the size of phase-separated structures, stabilize their morphology [25], and thus improve the physicomachanical properties of composites.

Another direction is the formation of free radicals in the mixture during the melting process, which is achieved, for example, by introducing peroxides into the mixture [17, 26–28] or by physical treatment of the mixture (gamma radiation, etc.). The formation of free radicals leads to chain breaks, the formation of peroxide, hydroxyl, carbonyl groups, and crosslinking with the formation of spatial structures, improving the compatibility of mixtures. Mechanochemical processes can also contribute to the formation of free radicals. The combination of shear, stretching, friction results in the rupture of linear macromolecules, making possible interchain reactions.

The most advanced approach suggests introducing nanofillers, acting as compatibilizers, into a mixture of thermoplastics. However, the main difficulty is to concentrate nanoparticles at the interphase boundaries because only in this case is the goal of improving compatibility achieved [18,19].

Another direction is reaction compatibilization, i.e. improvement of compatibility via physicochemical reactions occurring directly in the melt. In this case, an ad-

ditional component is introduced into the thermoplastic melt, usually a polymer with functional groups (epoxy, acrylate, carboxyl, isocyanate, etc.) that are active with respect to the functional groups of the mixture components. This leads to the formation of complex block copolymers or graft copolymers at the interface, resulting in the formation of spatial structures. It should be noted [12] that reactive compatibilization with the participation of epoxy groups is expedient for mixtures of polymer wastes, in which terminal hydroxyl and carboxyl groups are formed as a result of destructive processes.

The combination of several methods for controlling the compatibility of polymers in a melt seems to be the most promising. Such experiments were described, for example, in [29], where the compatibility of secondary PET and primary low-density polyethylene (LDPE) was affected in two ways: introduction of a compatibilizer (copolymer of ethylene and vinyl acetate) and gamma radiation after-treatment. As a result, the mechanical and thermal properties of the mixture were improved.

The polymer composites industry is actively developing, and the market offers a range of compatible additives, including compatibilizers with grafted functional groups. Thus, modified ethylene and vinyl acetate copolymers (for example, Etatilen from New Polymer Technologies (<http://npt.ltd>), Sevilen from Khimplex (<https://himplex.ru>), etc.) are positioned as additives in the processing of polymer waste. Such copolymers can act both as conventional and reactive compatibilizers. The main purpose of the presented work is to investigate the effect of copolymer compatibilizer with grafted functional groups on the properties of composites obtained from mixtures of mass waste and successfully amenable to sampling and sorting of thermoplastics – PET and PP.

2. MATERIALS AND METHODS

In our study, we used household waste, namely a mixture of rPET transparent and coloured bottles) and rPP food containers, which were crushed into particles up to 50 mm in size and dried before melting.

An Etatilen EVA-g-GMA (EVA-g-GMA) modified ethylene-vinyl acetate copolymer with grafted chemically active polar acrylate and epoxy groups (New Polymer Technologies, Unecha, Bryansk region, Russia) was used as a copolymer compatibilizer. The content of vinyl acetate groups in the copolymer is 22%. The grafting rate of 2,3-epoxypropyl methacrylate (Glycidyl Methacrylate, GMA) was 3%. According to the manufacturer, this brand of compatibilizer is effective for polymer blends based on polyesters, especially when processing recycled PE, PET, and their mixtures.

The polymer mixture (rPET, rPP, EVA-g-GMA) was melted. Then, a mineral filler, limestone flour with the specific surface area of 1000 cm²/g determined by the gas per-

meability method, was introduced into the resulting melt. The degree of filling of the compositions varied from 50 to 85 wt.%. The prepared mixture was loaded into a mold. The samples were pressed at a specific pressure of 25 MPa for 2 min and cooled under ambient conditions for 3 hours.

Infrared (IR) spectroscopy was used to study the composition and the presence of functional groups in polymers; the spectra were recorded on an InfracumFT-801 device. Differential thermal analysis (DTA) was carried out on a DerivatographQ-1500D device to track temperature transitions and thermal effects.

Physical and mechanical properties were determined as follows. First, the ultimate compressive strength (R) was determined using the samples with dimensions of 80x40x40 mm made and tested using a method described in GOST 310.4 s. Second, the samples with dimensions

of 80x40x10 mm were made for determining the ultimate tensile strength in bending (R_{ib}) and tested using a method described in GOST 27180.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Melting temperature selection

According to the manufacturer's recommendations, EVA-g-GMA can be processed at the same temperatures as the polymers of base grades for which it is used. As follows from the DTA curves for EVA-g-GMA copolymer (see Fig. 1), the endothermic effect of melting was observed in the temperature range from 40 to 110°C with a maximum at 75°C. The processes of thermal-oxidative destruction started at 240°C, and they were accompanied

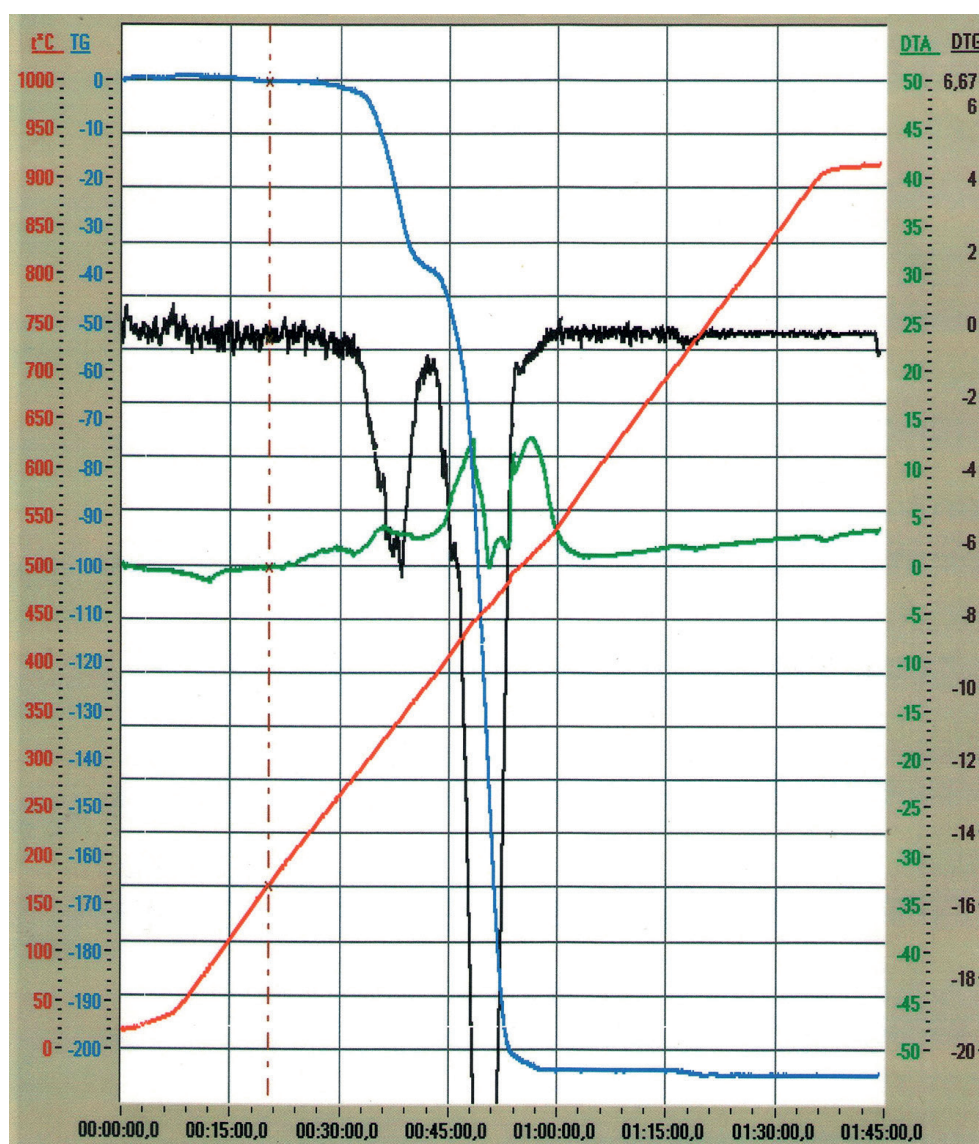


Fig. 1. Derivatogram and thermogram of EVA-g-GMA

by the exothermic effects and the onset of active mass loss. Based on these facts, we have chosen the temperature for preparing the melt of polymer components of the composition: $240 \pm 5^\circ\text{C}$. It would not be possible to obtain the rPET melt at lower temperatures because it was previously shown [9] that the endothermic effects of melting for it occurred within the range of $235\text{--}265^\circ\text{C}$ with a maximum at 255°C . Therefore, the indicated temperatures are sufficient to obtain the rPP melt [9].

3.2 Selection of the ratio between polymer components in the melt

The rPET:rPP ratio of 70:30 wt.% was chosen based on previously obtained data [9, 10].

The amount of EVA-g-GMA, from 1.5 to 5%, was initially selected based on the manufacturer's recommendations and the results of previous studies [30–32]. The two-phase morphology of the rPET+rPP mixture, with low adhesion between the phases, adversely affected the mechanical properties of the products prepared from the mixture. We conducted a preliminary series of experiments to study the impact of the EVA-g-GMA content in the rPET+rPP mixture (EVA-g-GMA was added to the mixture to replace part of rPP) on the strength properties of filled polymer composites. It was found that the compatibilizer introduced in the composition in an amount ranged from 1.5 to 10% of the total weight

of the rPET and rPP polymer components reduced the compressive strength and increased the flexural strength of the resulting filled samples. The greatest increase in flexural strength was observed when the EVA-g-GMA content was 5 wt.%. When the compatibilizer was introduced in smaller amounts, the effect of enhancing the flexural strength decreased. The introduction of a larger amount of compatibilizer left the flexural strength of the specimens at the same level and reduced the compressive strength. As a result, the ratio between the polymer components of the composition was chosen as follows:

$$\text{rPET:rPP:EVA-g-GMA} = 70:25:5 \text{ wt.}\%$$

3.3 Study of the effect of compatibilizer on the strength properties of composites with various filling ratios

The experimental data on the strength of the samples represented as a function of the filling ratio for compositions with and without the EVA-g-GMA compatibilizer (see Fig. 2 and 3) indicate the following patterns. First, the dependencies are extreme, and the highest values of strength indicators were found when the filling ratio was within the range of 60–70% by weight of the composition. Second, the presence of the compatibilizer led to a decrease in the compressive strength of the composite samples, and the flexural strength was higher over the entire range of filling ratio.

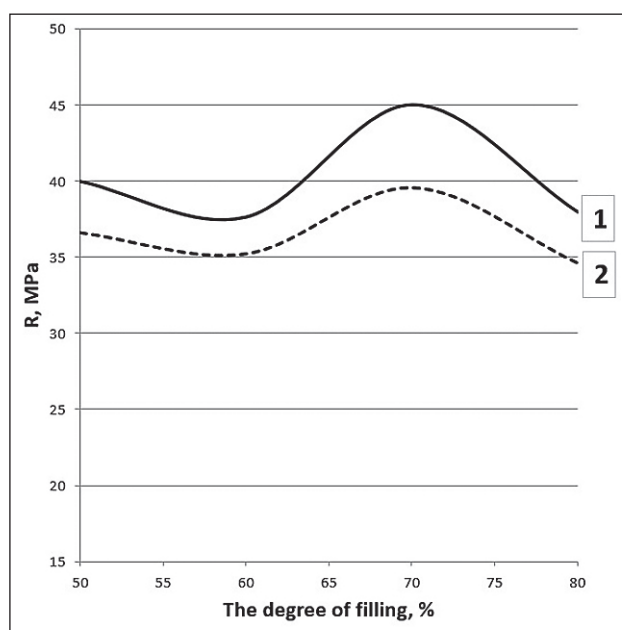


Fig. 2. Dependence of ultimate strength in compression on the filling ratio of the composition

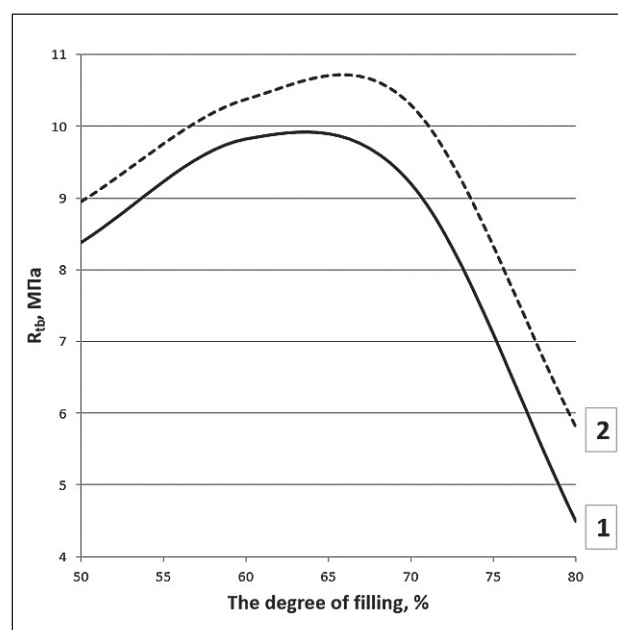


Fig. 3. Dependence of ultimate strength in bending on the filling ratio of the composition

The composition includes:

1 – rPET, rPP in a ratio of 70:30 wt.%; 2 – rPET, rPP, EVA-g-GMA in a ratio of 70:25:5 wt.%

3.4 Background of compatibilization in terms of physical processes

The effect of the compatibilizer on the properties of the samples can be explained by morphological changes in the structure of the polymer mixture. If the volume fraction of another polymer in the main polymer is small, a dispersed phase of the second polymer is formed. The morphology of this phase depends on the degree of mixing, volume fractions, and interactions between the polymers. For example, according to [30], the dispersed rPP phase was identified in the rPET+rPP mixture (the rPET:rPP ratio was 80–95:20–5 by weight), and the average size of rPP particles increased with an increase in its volume fraction in the mixture. The introduction of a compatibilizer into the mixture leads to a more uniform distribution and a decrease in the average particle size of the rPP phase. In work [23], on the contrary, the volume fraction of PP significantly exceeded that of PET (85:15 by weight, respectively), and the dispersed phase of PET was identified using scanning electron microscopy. Moreover, in the binary PET+PP mixtures, the PET phase was poorly dispersed, and the average particle size of the dispersed PET phase was reduced in the presence of a compatibilizer, and the particles were distributed quite uniformly.

In our case, the volume fraction of rPP in the polymer mixture was less but comparable with that of rPET. Therefore, one could expect both the formation of an rPET matrix structure with a dispersed rPP phase and an interpenetrating network (IPN) structure. However, in both cases, the compatibilizer is distributed along the interphase boundaries [30]. Therefore, an increase in bending strength and a simultaneous decrease in compressive strength can be partly explained by physical processes, including the morphological changes in the structure and plastic deformation of the interfacial layer of the compatibilizer.

The tensile and tear strength is known to be a more structure-sensitive property when analyzing polymer compatibility. According to [30], the introduction of rPP into rPET leads to a decrease in tensile strength, and the introduction of a compatibilizer into a polymer mixture leads to a significant increase in this indicator. The elastic modulus of the rPET+rPP mixture is lower than that of each of the polymers [30], and the introduction of the compatibilizer into their mixture leads to an even greater decrease. This fact can be attributed to the deformability of the layer of the EVA copolymer-based compatibilizer, the elastic modulus of which is significantly lower than that of PP. However, with a large proportion of rPP in the polymer mixture, the compatibilizer insignificantly reduces the elastic modulus of the mixture. In [31], an increase in bending and tensile strength was also marked when recycled polyethylene and rPET compatibilizer were

added to the mixture. All these facts indicate an increased adhesion between the two polymer phases, which is difficult to explain only by physical reasons.

In addition, the authors of [23] showed that the average particle size of the dispersed PP phase in the PP+PET mixture increased with the increasing melt temperature. This property is known for incompatible mixtures since the enthalpy of mixing (which negatively affects miscibility) will increase with increasing temperature [33]. Nevertheless, on the contrary, in the presence of a compatibilizer, the average particle size of the dispersed PET phase decreases with an increase in temperature [23]. This fact indicates a more complex mechanism of compatibilization, which is caused not only by changes in the morphology of the phases. Note that in the studies discussed here, GMA-modified copolymers were also used as compatibilizers.

3.5 Justification of compatibilization by physicochemical processes

The EVA-g-GMA compatibilizer grafted with the bifunctional monomer 2,3-epoxypropyl methacrylate contains an unsaturated group for polymerization or free-radical grafting and an epoxy group that can react with terminal functional groups such as hydroxyls and carboxyls.

The presence of functional groups in the EVA-g-GMA compatibilizer was investigated using IR spectroscopy (Fig. 4).

A strong absorption band of the epoxy group and ether bond is observed at 1240–1250 cm^{-1} , a weak absorption band of the epoxy group is seen at 870 cm^{-1} . In [34], possible chemical reactions between the compatibilizer and polybutylene terephthalate were investigated through changes in the characteristic epoxy groups in GMA-modified copolymers of ethylene bands at 846, 909, and 995 cm^{-1} . In our case, these bands are either not expressed or shifted. The functional groups are difficult to identify, probably due to the low degree of GMA grafting to the

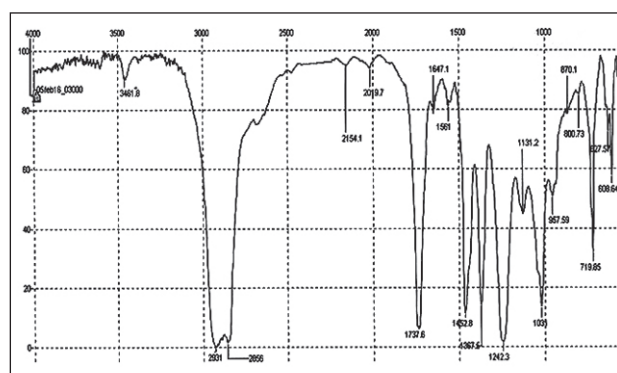


Fig 4. IR spectrum of EVA-g-GMA

EVA copolymer, which was 3% in our case versus 8% in [23, 30, 34]).

It is known that at temperatures of the order of 150–180°C, epoxy cycles are capable of opening and participating in chain elongation reactions. Both epoxy and acrylate functional groups are active in the formation of intramolecular and intermolecular hydrogen bonds leading to the formation of polyassociates. An intensive broad absorption band at 3420–3590 cm⁻¹ in the IR spectra of a mixture of polymers can indirectly indicate this type of reaction (Fig. 5), but it is difficult to identify chemical reactions from the spectra since the same band also indicates the presence of terminal hydroxyl groups in secondary polymers.

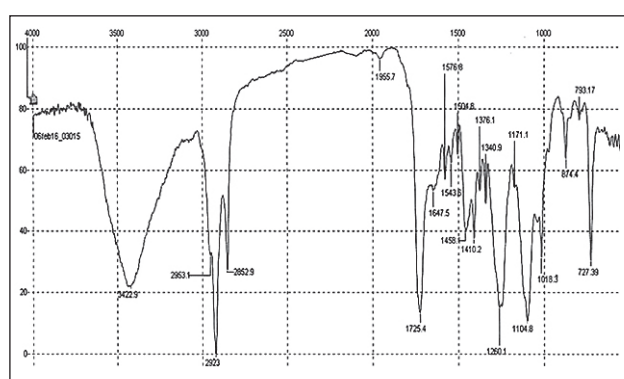


Fig. 5. IR spectrum of a mixture of rPET, rPP, EVA-g-GMA in a ratio of 70:25:5 wt. %

Figure 6 schematically represented possible reactions between functional groups of the EVA-g-GMA compatibilizer and the rPET phase in the melt. The reactions are reversible. As noted in many studies [12, 23, 31, 35], the increased reactivity of the functional groups of GMA-modified copolymers with respect to the PET phase may be a result of the reaction of thermal activation with an equilibrium shift to the right and an increase in the number of reactive PET groups generated by destructive processes. In general, there is an increase in the compatibility effect of PP and PET due to GMA-modified compatibilizers with increasing melt temperature. Therefore, in these studies, the melt temperatures were chosen in the range of 270–300°C. As shown above, in our case, the temperature should not exceed 245°C due to the onset of thermal destruction of EVA-g-GMA.

4. CONCLUSIONS

1. When processing mixed thermoplastic polymer waste into construction products, technological compatibility can be improved directly in the melt by introducing compatibilizers into the mixture. The modified compati-

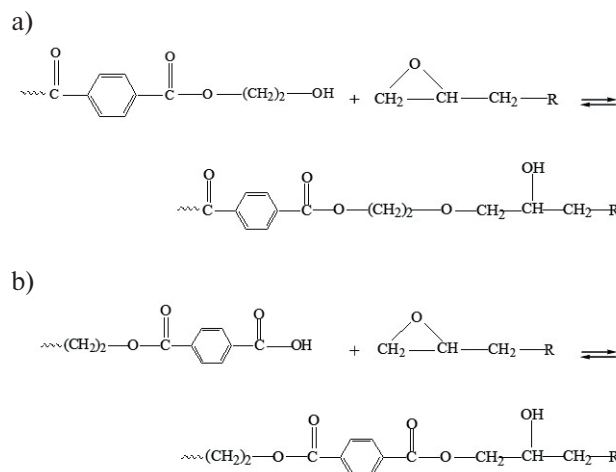


Fig. 6. Schemes of possible chemical reactions between the epoxy group of GMA and the end groups of rPET: hydroxyl (a); carbonyl (b)

bilizers with grafted epoxy groups are effective for waste containing polyethylene terephthalate, since they react in the melt with the terminal hydroxyl and carboxyl groups of polyethylene terephthalate.

2. Introduction of the modified EVA-g-GMA compatibilizer into a mixture of polyethylene terephthalate and polypropylene waste in an amount of 5% of the total weight of the polymer components of the composition leads to an increase in flexural strength and a decrease in the compressive strength of filled samples. This fact is explained by morphological changes in the structure of the polymer mixture and plastic deformation of the interfacial layer of the compatibilizer under loading. In addition, chemical reactions in the melt with the opening of epoxy rings are also probable.

3. It is rather difficult to assess the actual efficiency of the compatibilizer and its grafted functional groups in the studied mixtures of polymer waste since its effect on the flexural and compressive strength of the filled samples is not significant. Therefore, additional mechanical tests for tensile strength and impact strength are needed, which will make it possible to formulate practical recommendations for managing the properties of products for more efficient processing of this waste.

4. It is necessary to optimize the melt temperature and find a balance between the activation of the reaction compatibilization and the minimization of destructive processes in polymers.

In conclusion, it should be added that the processing of polymer waste into building materials saves primary raw materials and energy and ensures the recycling of plastics, which is crucial in light of current trends of increased attention to environmental issues and tightening of legislation on waste disposal.

REFERENCES

1. Geyer R., Jambeck J., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 2017; 3(7). Available from: [doi: 10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782).
2. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste, in: European Commission (Ed.). 2008.
3. Sustainable Plastics Strategy. Edition 2, December 2020. Available from: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4352-sustainable-plastics-strategy> [Accessed 5th July 2021].
4. International Forum of the Union of Plastic Converters. *Polymer materials*. 2021; 4: 4–13.
5. BS 8001:2017: Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations.
6. Kumi-Larbi Jnr Al., Yunana D., Kamsouloum P., Webster M., Wilson D.C., Cheeseman Ch. Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks. *Waste Management*. 2018; 80: 112–118. Available from: [doi: 10.1016/j.wasman.2018.09.003](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.003).
7. Dalhat M.A., Al-Abdul Wahhab H.I. Cement-less and asphalt-less concrete bounded by recycled plastic. *Construction and Building Materials*. 2016; 119: 206–214. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.010).
8. Dhawan R., Brij Mohan Singh Bisht, Rajeev Kumar, Saroj Kumari, Dhawan S.K. Recycling of plastic waste into tiles with reduced flammability and improved tensile strength. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019; 124: 299–307. Available from: [doi: 10.1016/j.psep.2019.02.018](https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.018).
9. Fomina N.N., Polyanskij M.M. Components of solid municipal waste in construction compositions. *IOP Conference Series: Earth and environmental Science*. 2019; 337(1). Available from: [doi: 10.1088/1755-1315/337/1/012022](https://doi.org/10.1088/1755-1315/337/1/012022).
10. Fomina N.N., Khozin V.G. Thermoplastic binder from polymer wastes. *Construction materials*. 2021; 1–2: 105–114. Available from: [doi: 10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-00-00](https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-00-00).
11. Rzaev K.V. State-of-art and trends of plastic wastes recycling market in Russia. *Polymer materials*. 2020; 8: 4–10.
12. Marisa J., Bourdon S., Brossard J.-M., Cauret L., Fontaine L., Montembault V. Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. *Polymer Degradation and Stability*. 2018; 147. Available from: [doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.11.001](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.11.001).
13. Flory P.J. Thermodynamics of high polymer solutions. *The Journal of Chemical Physics*. 1941; 9(8): 660–661.
14. Huggins M.L. Solutions of long chain compounds. *The Journal of Chemical Physics*. 1941; 9(5): 440.
15. *Polymer mixtures. Volume 1: Systematics*. Paul D.R., Backnell K.B. (eds). Saint-Petersburg: Scientific fundamentals and technologies; 2009.
16. *Polymer mixtures. Volume 2: Functional properties*. Paul D.R., Backnell K.B. (eds). Saint-Petersburg: Scientific fundamentals and technologies; 2009.
17. Zaikin A.E., Bobrov G.B. Influence of peroxide on characteristics of mixture of polypropylene and ethylene-vinyl-acetate copolymer. *The Bulletin of Kazan Technological University*. 2012; 15(7): 67–70.
18. Zaikin A.E., Bobrov G.B. Threshold extension of technical carbon percolation in polymer mixtures. *The Bulletin of Kazan Technological University*. 2012; 15(18): 119–125.
19. Zaikin A.E., Bobrov G.B. Compatibilization of mixtures of noncompatible polymers by means of filling. *Polymer Science. Series A*. 2012; 54(8): 1275–1282.
20. Asadsky A.A., Matseevich T.A., Popova M.N. *Secondary polymer materials (mechanical and barrier characteristics, plastifying, mixtures and nanocomposites)*. Moscow: ASV; 2017.
21. Mikitaev M.A., Kozlov G.V., Mikitaev A.K. Structural analysis of cosite of polymer mixtures. *Plasticheskie massy*. 2017; 1–2: 20–23.
22. Bruggen E. P. A., Koster R. P., Picken S. J., Ragaert K. Influence of Processing Parameters and Composition on the Effective Compatibilization of Polypropylene–Poly(ethyleneterephthalate) Blends. *International Polymer Processing*. 2016; 31(2): 179–187. Available from: [doi: 10.3139/217.3124](https://doi.org/10.3139/217.3124).
23. Jayanarayanan K., Thomas S., Joseph K. Effect of compatibilizer on the morphology development, static and dynamic mechanical properties of polymer-polymer composites from LDPE and PET. *International Journal of Plastics Technology*. 2015; 19(1): 84–105. Available from: [doi: 10.1007/s12588-015-9108-1](https://doi.org/10.1007/s12588-015-9108-1).
24. Utracki L. Compatibilization of Polymer Blends. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2002; 80: 1008–1016. Available from: [doi: 10.1002/cjce.5450800601](https://doi.org/10.1002/cjce.5450800601).
25. Ma P., Cai X., Zhang Y., Wang S., Dong W., Chen M., Lemstra P.J. In-situ compatibilization of poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends by using dicumyl peroxide as a free-radical initiator. *Polymer Degradation and Stability*. 2014; 102: 145–151. Available from: [doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.025](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.025).

26. Wang Y., Li D., Zhang J.-M., Xie X.-M. Compatibilization and toughening of immiscible ternary blends of polyamide 6, polypropylene (or a propylene–ethylene copolymer), and polystyrene. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011; 11(3): 1652–1658. Available from: [doi: 10.1002/app.32839](https://doi.org/10.1002/app.32839).
27. Gu J., Xu H., Wu C. Thermal and crystallization properties of HDPE and HDPE/PP blends modified with DCP. *Advances in Polymer Technology*. 2014; 33(1). Available from: [doi: 10.1002/adv.21384](https://doi.org/10.1002/adv.21384).
28. Abdel Tawab K., Ibrahim S.M., Magida M.M. The effect of gamma irradiation on mechanical, and thermal properties of recycling polyethylene terephthalate and low density polyethylene (R-PET/LDPE) blend compatibilized by ethylene vinyl acetate (EVA). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2012; 295(2): 1313–1319. Available from: [doi: 10.1007/s10967-012-2163-6](https://doi.org/10.1007/s10967-012-2163-6).
29. Baccouch Z., Mbarek S., Jaziri M. Experimental investigation of the effects of a compatibilizing agent on the properties of a recycled poly(ethylene terephthalate)/ polypropylene blend. *Polymer Bulletin*. 2016; 1–18. Available from: [doi: 10.1007/s00289-016-1748-6](https://doi.org/10.1007/s00289-016-1748-6).
30. Chen R.S., Ghani M.H., Salleh M.N., Ahmad S., Gan S. Influence of blend composition and compatibilizer on mechanical and morphological properties of recycled HDPE/PET blends. *Materials Sciences and Applications*. 2014; 5(13): 943–952. Available from: [doi: 10.4236/msa.2014.513096](https://doi.org/10.4236/msa.2014.513096).
31. Pantyukhov P., Popov A., Kolesnikova N. Preparation, structure, and properties of biocomposites based on low-density polyethylene and lignocellulosic fillers. *Polymer Composites*. 2016; 37(5): 1461–1472. Available from: [doi: 10.1002/pc.23315](https://doi.org/10.1002/pc.23315).
32. Higgins J. S., Lipson J. E. G., White R. P. A Simple Approach to Polymer Mixture Miscibility. *Philosophical Transactions of Royal Society A*. 2010; 368: 1009–1025. Available from: [doi: 10.1098/rsta.2009.0215](https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0215).
33. Tsai C.H., Chang F.C. Polymer Blends of PBT and PP Compatibilized by Ethylene-co-Glycidyl Methacrylate Copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 1996; 61: 321–332.
34. Yildirim E., Yurtsever M. A Comparative Study on the Efficiencies of Polyethylene Compatibilizers by Using Theoretical Methods. *Journal of Polymer Research*. 2012; 19. Available from: [doi: 10.1007/s10965-011-9771-7](https://doi.org/10.1007/s10965-011-9771-7).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Fomina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of "Building Materials, Structures and Technologies", Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7882-1325>, e-mail: fominanani@yandex.ru

Vadim G. Khozin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department "Technology of Building Materials, Products and Structures" "Kazan State University of Architecture and Engineering", Kazan, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0874-316X>, e-mail: khazin.vadim@yandex.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 15.07.2021.

Revised: 03.08.2021.

Accepted: 06.08.2021.



Компатибилизация смесей полимеров при переработке отходов изделий из термопластов

Н.Н. Фомина^{1*} , В.Г. Хозин²

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

² Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия

*Контакты: e-mail: fominanani@yandex.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Переработка отходов термопластов в строительные материалы с длительным жизненным циклом – перспективное и технологически реализуемое направление утилизации. Целесообразно развивать переработку смешанных полимерных отходов. Термопласты термодинамически несовместимы, но технологической совместимостью можно управлять на стадии расплава: введением компатибилизаторов; нанонаполнителей; образованием в расплаве свободных радикалов; реакционной компатибилизацией. **Материалы и методы.** Работа нацеливалась на исследование влияния компатибилизатора – сополимера этилена и винилацетата с привитыми акрилатными и эпоксидными группами на свойства композитов, полученных из смесей отходов полиэтилентерефталата и полипропилена. Смесью полимеров расплавляли, наполняли известняковой мукой (50–85% по массе), прессовали образцы, исследовали их физико-механические свойства. **Результаты, обсуждение, выводы.** Дифференциальным термическим анализом установлена температура приготовления расплава – 240°C до начала термоокислительной деструкции компатибилизатора. Установлено оптимальное соотношение между полиэтилентерефталатом, полипропиленом и компатибилизатором 70:25:5% по массе, обеспечивающее наибольший прирост прочности при изгибе без снижения прочности при сжатии наполненных композитов; оптимальная степень наполнения – 60–70%. Объемные доли полимеров в смеси соизмеримы, поэтому можно ожидать как формирования матричной структуры композита, так и структур типа взаимопроникающих сеток. В обоих случаях компатибилизатор распределяется по межфазным границам. Его воздействие на свойства может быть объяснено собственным пластическим деформированием в межфазном слое и морфологическими изменениями структуры смеси полимеров. Есть данные о повышении структурно-чувствительных свойств – прочности при растяжении и разрыве для смесей полимеров, содержащих данный компатибилизатор. Это указывает на увеличение адгезии между полимерными фазами, которое сложно объяснить только физическими причинами. Проанализированы возможные реакции между функциональными группами компатибилизатора и полиэтилентерефталатом в расплаве с раскрытием эпоксидных циклов. Отмечается усиление эффекта совместимости, однако фактическую эффективность компатибилизатора оценить сложно. Необходимы дополнительные механические испытания, оптимизация температуры расплава и поиск баланса между активизацией реакционной компатибилизации и минимизацией деструктивных процессов в полимерах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полимерные отходы, вторичная переработка, нанонаполнители, полиэтилентерефталат, полипропилен, компатибилизация.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Фомина Н.Н., Хозин В.Г. Компатибилизация смесей полимеров при переработке отходов изделий из термопластов // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 4. – С. 229–236. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-229-236.

1. ВВЕДЕНИЕ

Утилизация полимерных отходов в последние десятилетия стала серьезной экологической проблемой во всем мире [1–4 и др.]. В соответствии с основными принципами экономики замкнутого цикла или в международной терминологии – циркуляцион-

ной экономики (circular economy) [5] переработка стала наиболее желательной стратегией утилизации полимерных отходов. Переработка отходов термопластов в строительные материалы через повторное плавление, наполнение (необязательно) и формование (экструдированием или прессованием) изделий с длительным жизненным циклом – перспективное

и технологически реализуемое направление, учитывая непостоянство состава полимерных отходов, их загрязненность и, как следствие, трудоемкость более высокотехнологичной переработки [6–10].

На сегодняшний день вторичная переработка полимерных отходов развита недостаточно как в России [4, 9–11], так и в других странах [1, 5–8, 12]. Основные сдерживающие факторы — это относительно низкая стоимость первичных полимеров, загрязненность отходов и необходимость их тщательной сортировки, частичная деструктированность отходов и присутствие в них низкомолекулярных фракций. Причем даже отсортированные полимерные отходы чаще всего — это смеси полимеров. Так, основной полимерный продукт мусоросортировочных предприятий — пластиковые бутылки из-под напитков — состоят из полиэтилентерефталата (PET), но этикетка на них, как правило, из полипропилена (PP), крышка — из полиэтилена высокой плотности (HDPE). Поэтому развитие технологий вторичной переработки целесообразно сосредоточить на переработке смешанных полимерных отходов.

Теоретические положения по совместимости полимерных смесей разработаны еще в первой половине XX века Флори [13] и Хаггинсом [14]. Отечественные исследования полимерных смесей развиты в фундаментальных работах Липатова Ю.С., Кузнецова В.Н., Тагер А.А., Берлина А.А.; зарубежные исследования обобщены в монографиях Paul D.R. и Bucknall [15–16]. Из этих и других, в том числе, современных работ [12, 17–23] известно, что совместимость и смешиваемость для термопластичных полимеров — скорее исключение, чем правило, из-за малой энтропии их смешения и слабой адгезии по межфазным границам. Смесь термопластов можно характеризовать как композиционный материал с развитой границей раздела фаз. И если термодинамически термопласты несовместимы, то управлять технологической совместимостью их смесей в расплаве возможно. Здесь современные разработки развиваются в нескольких направлениях.

Ставшее традиционным направление — это введение в смесь дополнительного совмещающего агента — компатибилизатора, преимущественно полимерного типа (как правило, блок- или привитые сополимеры, реже статистические). Компатибилизаторы способствуют снижению поверхностной энергии несовместимых полимеров, уменьшению размеров фазоразделенных структур и стабилизации их морфологии [24] и таким образом улучшают физико-механические свойства композитов.

Другое направление — образование в смеси в процессе плавления свободных радикалов. Это достигается, например, введением в смесь пероксидов [17, 25–27] или физической обработкой смеси (гамма-из-

лучением и др.). Образование свободных радикалов приводит к разрывам цепи, образованию пероксидных, гидроксильных, карбонильных групп, сшиванию с образованием пространственных структур, что может способствовать улучшению совместимости смесей. Механохимические процессы также могут способствовать образованию свободных радикалов. Комбинация сдвига, растяжения, трения приводит к разрывам линейных макромолекул, становятся возможными межцепочные реакции.

Наиболее современное направление — введение в смесь термопластов нанонаполнителей, выступающих в роли компатибилизаторов. Здесь основная сложность — сконцентрировать наночастицы на межфазных границах, т.к. только в этом случае достигается цель улучшения совместимости [18–19].

Еще одно направление — реакционная компатибилизация, т.е. улучшение совместимости в результате происходящих непосредственно в расплаве физико-химических реакций. При этом в расплав термопластов вводится дополнительный компонент: как правило, полимер с функциональными группами (эпоксидными, акрилатными, карбоксильными, изоцианатными и др.), активными по отношению к функциональным группам компонентов смеси. Это приводит к образованию на границе раздела сложных блок-сополимеров или привитых сополимеров, в результате чего образуются пространственные структуры. Отмечается [12], что реакционная компатибилизация с участием эпоксидных групп целесообразна для смесей полимерных отходов, в которых в результате деструктивных процессов образуются концевые гидроксильные и карбоксильные группы.

Сочетание нескольких способов управления совместимостью полимеров в расплаве представляется наиболее перспективным. Такие разработки показаны, например, в [28], где воздействовали на совместимость вторичного PET и первичного полиэтилена низкой плотности (LDPE) двумя способами: введением компатибилизатора (сополимера этилена и винилацетата) и дополнительной обработкой гамма-излучением. В результате улучшились механические и термические свойства смеси.

Индустрия полимерных композитов активно развивается, и на рынке представлен спектр добавок-совместителей, в том числе, компатибилизаторов с привитыми функциональными группами. Так, модифицированные сополимеры этилена и винилацетата (например, Этатилен от компании «Новые полимерные технологии» (<http://npt.ltd>), Сэвилен от компании «Химплекс» (<https://himplex.ru>) и др.) позиционируются как добавки при переработке полимерных отходов. Такие сополимеры могут выпол-

нять роль как традиционного, так и реакционного компатибилизатора. Представленная работа имела целью исследование влияния сополимерного компатибилизатора с привитыми функциональными группами на свойства композитов, полученных из смесей отходов массовых и успешно поддающихся выборке и сортировке термопластов – PET и PP.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследований использовались коммунальные отходы полиэтилентерефталата (rPET) (смесь прозрачных и цветных бутылок) и полипропилена (rPP) (пищевые контейнеры), которые перед плавлением измельчались на частицы размерами до 50 мм и высушивались.

В качестве сополимерного компатибилизатора использовался модифицированный сополимер этилена и винилацетата «Этаилен EVA-g-GMA» (EVA-g-GMA) с привитыми химически активными полярными акрилатными и эпоксидными группами производства ООО «Новые полимерные технологии» (Брянская обл., г. Унеча). Содержание винилацетатных групп в сополимере – 22%. Степень прививки 2,3-эпоксипропилметакрилата (GlycidylMethacrylate (GMA)) – 3%. По данным производителя, данная марка компатибилизатора эффективна для полимерных смесей, изготовленных на основе полиэфиров, особенно при переработке рециклинговых PE, PET и их смесей.

Смесь полимеров (rPET, rPP, EVA-g-GMA) подвергали плавлению. В полученный расплав вводился минеральный наполнитель – известняковая мука (удельная поверхность 1000 см²/г по ПСХ-12). Степень наполнения композиций варьировалась от 50 до 85 % по массе. Готовая смесь загружалась в пресс-форму. Образцы прессовались при удельном давлении 25 МПа в течение 2 мин, с охлаждением естественной выдержкой в течение 3 часов.

Для исследования состава и наличия функциональных групп в полимерах применялся метод инфракрасной (ИК) спектроскопии, спектры регистрировались на приборе «InfracumFT-801». Для отслеживания температурных переходов и тепловых эффектов проводился дифференциальный термический анализ (ДТА) на приборе «DerivatographQ-1500D».

Физико-механические свойства определялись следующим образом. Для определения предела прочности при сжатии (R) изготавливались образцы размерами 80x40x40 мм и испытывались по аналогии с методикой ГОСТ 310.4. Для определения предела прочности на растяжение при изгибе (R_и) изготавливались образцы размерами 80x40x10 мм и испытывались по аналогии с методикой ГОСТ 27180.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Выбор температуры расплава

По рекомендациям производителя EVA-g-GMA, он может перерабатываться при тех же температурах, что и базовые марки полимеров, для компатибилизации которых он используется. ДТА сополимера EVA-g-GMA показал (рис. 1), что эндоэффект плавления регистрируется в интервале 40–110°C с максимумом при 75°C, а при температуре 240°C начинаются процессы термоокислительной деструкции, что сопровождается экзоэффектом и началом активной потери в массе. Исходя из этого мы выбрали температуру приготовления расплава полимерных компонентов композиции – 240±5°C. При более низких температурах не удастся получить расплав rPET, т.к. ранее показано [9], что эндоэффекты плавления для него регистрируются в интервале 235–265°C с максимумом при 255°C. Для получения расплава rPP указанных температур достаточно [9].

3.2 Выбор соотношения между полимерными компонентами в расплаве

Соотношение между полимерами rPET и rPP в композициях принято исходя из ранее проведенных исследований – 70:30% по массе [9–10].

Дозировка EVA-g-GMA изначально выбиралась, основываясь на рекомендациях производителя добавки (от 1,5 до 5%), а также ориентируясь на исследования [29–31]. Двухфазная морфология смеси rPET и rPP с низкой адгезией между фазами отрицательно сказывается на механических свойствах получаемых из смесей изделий. Мы провели предварительную серию экспериментов, исследуя влияние дозировки EVA-g-GMA в смеси rPET и rPP (EVA-g-GMA вводился в смесь взамен части rPP) на прочностные свойства образцов наполненных полимерных композитов. Установлено, что при введении в состав этого компатибилизатора в количестве от 1,5 до 10% от суммарной массы полимерных компонентов rPET и rPP наблюдается снижение прочности при сжатии и увеличение прочности при изгибе получаемых наполненных образцов. При содержании EVA-g-GMA в количестве 5% наблюдается наибольший прирост прочности при изгибе. При введении компатибилизатора в меньших количествах эффект усиления прочности при изгибе уменьшается; при введении большего количества компатибилизатора прочность образцов при изгибе остается на том же уровне, а прочность при сжатии снижается. В результате соотношение между полимерными компонентами композиции выбрано:

rPET:rPP:EVA-g-GMA = 70:25:5% по массе.

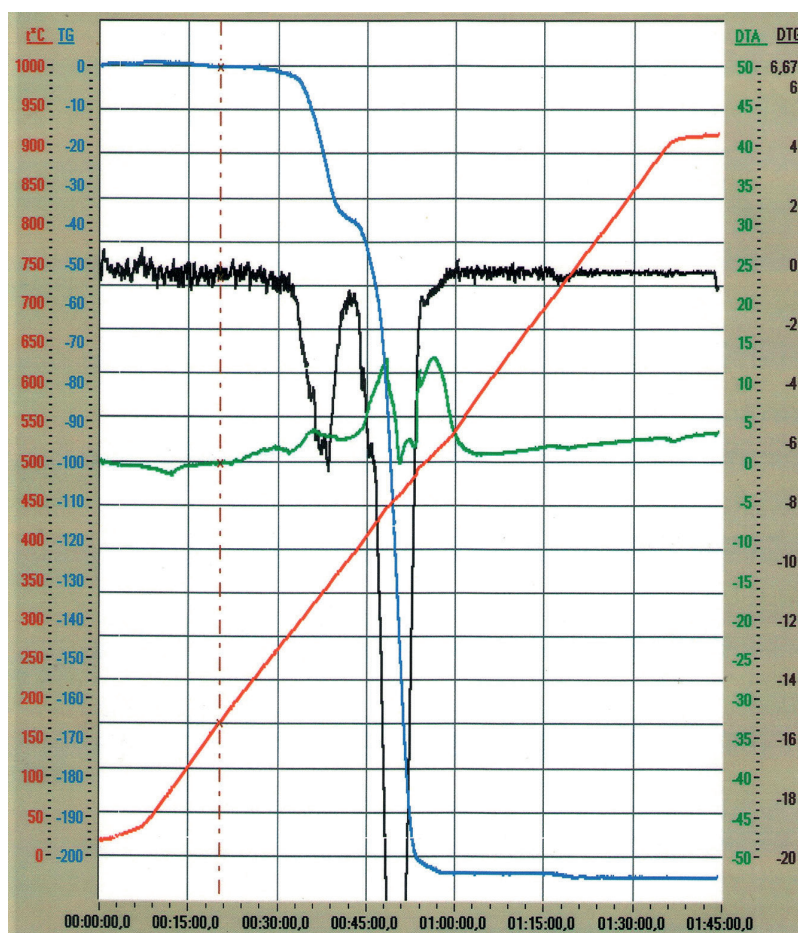


Рис.1. Дериватограмма и термограмма EVA-g-GMA

3.3 Исследование влияния компатибилизатора на прочностные свойства образцов композитов с различной степенью наполнения

Полученные экспериментальные значения прочности образцов в зависимости от степени наполнения (рис. 2–3) для составов с компатибилизатором EVA-g-GMA и без него указывают на следующие закономерности. Зависимости экстремальны, наибольшие значения прочностных показателей регистрируются в интервале степеней наполнения 60–70% по массе композиции. Наличие компатибилизатора в композициях приводит к снижению прочности при сжатии образцов, повышению прочности при изгибе во всем интервале степеней наполнения.

3.4 Обоснование компатибилизации физическими процессами

Такое воздействие компатибилизатора на свойства образцов может быть объяснено морфологическими изменениями структуры смеси полимеров. Если объемная доля в основном полимере другого

полимера невелика, формируется дисперсная фаза второго полимера, морфология которой будет зависеть от степени смешивания, объемных долей и взаимодействия полимеров. Так, например, показано [29], что в смеси гРЕТ и гРР (в соотношениях 80–95:20–5 по массе) идентифицируется дисперсная фаза гРР, и средний размер частиц гРР увеличивается при увеличении объемной доли его в смеси. Введение компатибилизатора в смесь приводит к более однородному распределению и уменьшению среднего размера частиц фазы гРР. В [22] объемная доля РР, напротив, существенно больше, чем РЕТ (соответственно 85:15 по массе), и при помощи сканирующей электронной микроскопии идентифицируется дисперсная фаза РЕТ. Причем в бинарных смесях РЕТ и РР фаза РЕТ плохо диспергирована, а в присутствии компатибилизатора средний размер частиц дисперсной фазы РЕТ уменьшается, и они распределены более равномерно.

В нашем случае объемная доля гРР меньше, но соизмерима с объемной долей гРЕТ в смеси полимеров. Поэтому можно ожидать как формирования матричной структуры гРЕТ с дисперсной фазой

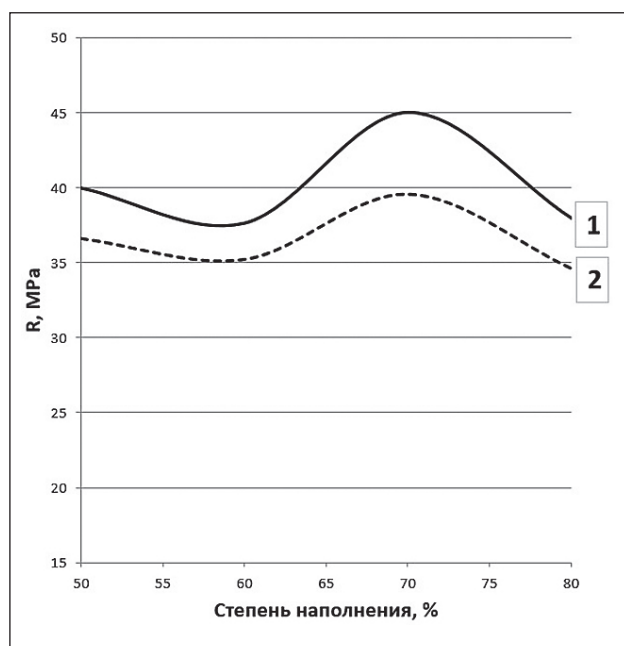


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии от степени наполнения композиции

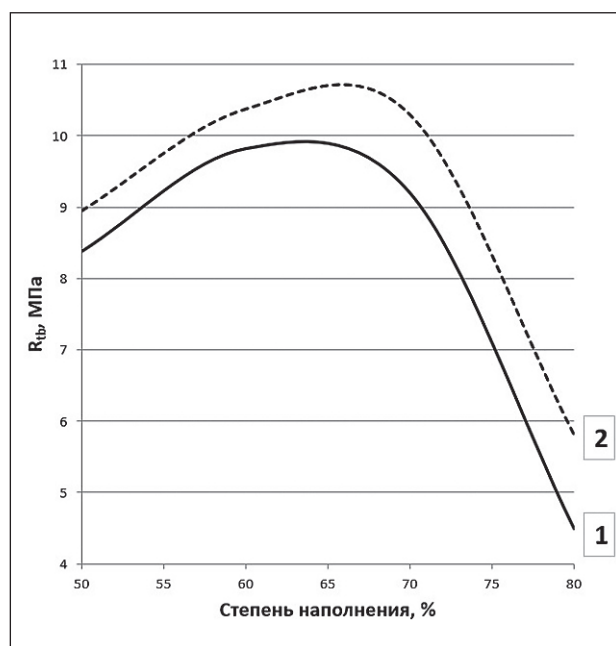


Рис. 3. Зависимость предела прочности при изгибе от степени наполнения композиции

В состав композиций входят:

1 – гРЕТ, гРР в соотношении 70:30 % по массе; 2 – гРЕТ, гРР, EVA-g-GMA в соотношении 70:25:5 % по массе.

гРР, так и структуры типа взаимопроникающих сеток (ВПС). Но и в том, и в другом случае, компатибилизатор распределяется по межфазным границам [29]. Поэтому увеличение прочности при изгибе и одновременное снижение прочности при сжатии отчасти можно объяснить физическими процессами – как морфологическими изменениями структуры, так и пластическим деформированием межфазного слоя компатибилизатора.

Известно, что прочность при растяжении и разрыве является более структурно-чувствительным свойством при анализе совместимости полимеров. По данным [29], введение гРР в гРЕТ приводит к снижению прочности на разрыв, а введение компатибилизатора в смесь полимеров приводит к значительному увеличению этого показателя. Модуль упругости смеси гРЕТ и гРР, по данным [29], ниже, чем каждого из полимеров, а введение в их смесь компатибилизатора приводит к еще большему его снижению, что объясняется деформативностью слоя компатибилизатора на основе сополимера EVA, модуль упругости которого значительно ниже, чем у РР. Тем не менее, при большой доле гРР в смеси полимеров компатибилизатор снижает модуль упругости смеси очень незначительно. В [30] также отмечается рост прочности при изгибе и при растяжении при введении в смесь вторичного полиэтилена и гРЕТ компатибилизатора. Все это явно указывает на уве-

личение адгезии между двумя полимерными фазами, которое сложно объяснить только физическими причинами.

Кроме того, авторы [22] показали, что средний размер частиц дисперсной фазы РР в смеси (РР в РЕТ) увеличивается с увеличением температуры расплава. Для несовместимых смесей это явление известно, поскольку энтальпия смешения (которая отрицательно влияет на смешиваемость) будет увеличиваться с повышением температуры [32]. В то же время в [22] показано, что в присутствии компатибилизатора, напротив, с повышением температуры средний размер частиц дисперсной фазы РЕТ уменьшается. Это указывает на более сложный механизм компатибилизации, который обусловлен не только изменениями в морфологии фаз (в обсуждаемых здесь исследованиях в качестве компатибилизатора также использовались GMA-модифицированные сополимеры).

3.5 Обоснование компатибилизации физико-химическими процессами

Компатибилизатор EVA-g-GMA с прививкой бифункционального мономера – 2,3-эпоксипропилметакрилата содержит ненасыщенную группу для полимеризации или свободно-радикальной прививки и эпоксидную группу, которая может реагировать

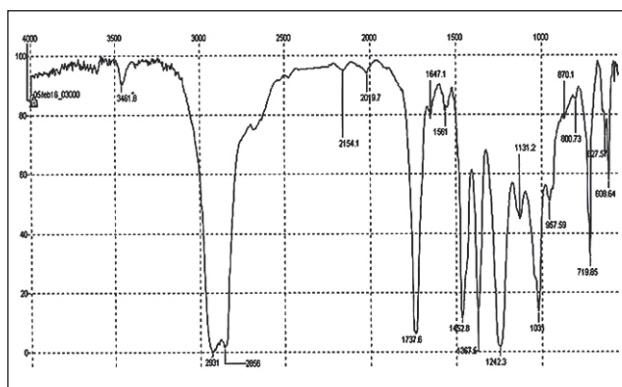


Рис. 4. ИК-спектр EVA-g-GMA

с концевыми функциональными группами, такими как гидроксилы и карбоксилы.

Наличие функциональных групп в составе компатибилизатора EVA-g-GMA исследовалось с помощью ИК-спектроскопии (рис. 4).

Сильная полоса поглощения эпоксигруппы и эфирной связи регистрируется при $1240\text{--}1250\text{ см}^{-1}$, слабая полоса поглощения эпоксигруппы — при 870 см^{-1} . В [33] возможные химические реакции между компатибилизатором и полибутилентерефталатом исследованы через изменения в характерных для эпоксидных групп в GMA-модифицированных сополимеров этилена полос при 846 , 909 и 995 см^{-1} . В нашем случае данные полосы либо не выражены, либо смещены. Также вероятно, что идентификация функциональных групп осложнена из-за невысокой степени прививки GMA (3% в нашем случае, против 8% в [22, 29, 33]) к сополимеру EVA.

Известно, что эпоксидные циклы при температуре порядка $150\text{--}180^\circ\text{C}$ способны раскрываться и участвовать в реакциях удлинения цепи. Как эпоксидные, так и акрилатные функциональные группы активны в реакциях образования внутри-молекулярных и межмолекулярных водородных

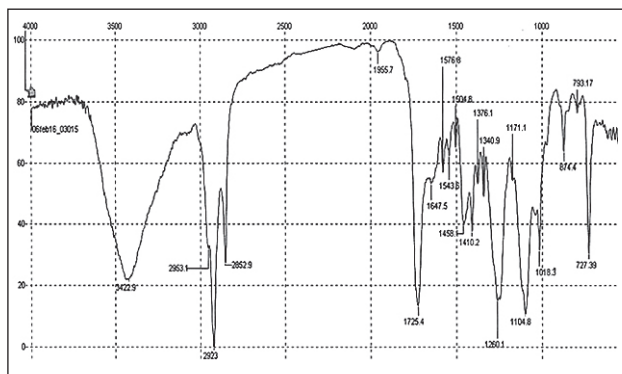


Рис. 5. ИК-спектр смеси rPET, rPP, EVA-g-GMA в соотношении 70:25:5 % по массе

связей с образованием полиассоциатов. На такого рода реакции косвенно может указывать появление на ИК-спектрах смеси полимеров (рис. 5) сильной широкой полосы поглощения при $3420\text{--}3590\text{ см}^{-1}$, но идентифицировать химические реакции по спектрам сложно, т.к. эта же полоса свидетельствует и о наличии концевых гидроксильных групп во вторичных полимерах.

Возможные реакции между функциональными группами компатибилизатора EVA-g-GMA и фазой rPET в расплаве можно представить схематично (рис. 6). Реакции обратимы, и, как отмечается

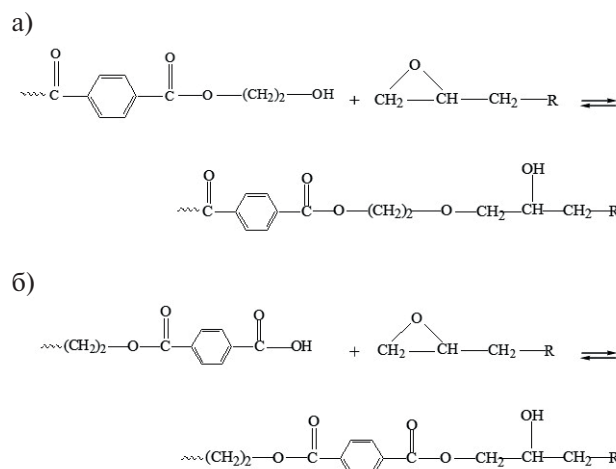


Рис. 6. Схемы возможных химических реакций между эпоксидной группой GMA и концевыми группами rPET: (а) гидроксильной; (б) карбонильной

во многих исследованиях [12, 22, 30, 34], повышенная реакционная способность функциональных групп GMA-модифицированных сополимеров по отношению к фазе PET может быть результатом термической активации реакции со сдвигом равновесия вправо и увеличением количества реакционноспособных групп rPET из-за деструкционных процессов. В целом, отмечается усиление эффекта совместимости PP и PET с помощью GMA-модифицированных компатибилизаторов при повышении температуры расплава. И поэтому температуры расплава в указанных исследованиях принимались в интервале $270\text{--}300^\circ\text{C}$. В нашем случае температура не превышала 245°C из-за начала термодеструкции EVA-g-GMA, что показано выше.

4. ВЫВОДЫ

1. При переработке смешанных термопластичных полимерных отходов в строительные изделия технологическая совместимость может быть улуч-

шена непосредственно в расплаве введением в смесь компатибилизаторов. Для отходов, содержащих полиэтилентерефталат, эффективны модифицированные компатибилизаторы с привитыми эпоксидными группами, которые в расплаве реагируют с концевыми гидроксильными и карбоксильными группами полиэтилентерефталата.

2. Введение модифицированного компатибилизатора EVA-g-GMA в смесь отходов полиэтилентерефталата и полипропилена в количестве 5% от суммарной массы полимерных компонентов композиции приводит к повышению прочности при изгибе и снижению прочности при сжатии наполненных образцов. Это объясняется морфологическими изменениями структуры полимерной смеси, а также пластическим деформированием межфазного слоя компатибилизатора при нагружении. Также вероятны химические реакции в расплаве с раскрытием эпоксидных циклов.

3. Довольно сложно оценить фактическую эффективность компатибилизатора и его привитых

функциональных групп в исследованных смесях полимерных отходов, так как влияние его на прочность при изгибе и сжатии наполненных образцов не столь существенно. Необходимы дополнительные механические испытания — на разрыв и ударную вязкость, что позволит сформулировать практические рекомендации управления свойствами изделий для более эффективной переработки этих отходов.

4. Необходима оптимизация температуры расплава и поиск баланса между активизацией реакционной компатибилизации и минимизацией деструктивных процессов в полимерах.

В заключении необходимо добавить, что переработка полимерных отходов в строительные материалы не только позволяет экономить первичное сырье и энергию, но также обеспечить утилизацию пластиков в свете современных тенденций повышенного внимания к экологическим проблемам и ужесточения законодательств по утилизации отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geyer R., Jambeck J., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 2017; 3(7). Available from: [doi: 10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782).
2. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste, in: European Commission (Ed.). 2008.
3. Sustainable Plastics Strategy. Edition 2, December 2020. Available from: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4352-sustainable-plastics-strategy> [Accessed 5th July 2021].
4. Международный форум Союза переработчиков пластмасс // Полимерные материалы. — 2021. — № 4. — С. 4–13.
5. BS 8001:2017: Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations.
6. Kumi-Larbi Jnr Al., Yunana D., Kamsouloum P., Webster M., Wilson D.C., Cheeseman Ch. Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks. *Waste Management*. 2018; 80: 112–118. Available from: [doi: 10.1016/j.wasman.2018.09.003](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.003).
7. Dalhat M.A., Al-Abdul Wahhab H.I. Cement-less and asphalt-less concrete bounded by recycled plastic. *Construction and Building Materials*. 2016; 119: 206–214. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.010).
8. Dhawan R., Brij Mohan Singh Bisht, Rajeev Kumar, Saroj Kumari, Dhawan S.K. Recycling of plastic waste into tiles with reduced flammability and improved tensile strength. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019; 124: 299–307. Available from: [doi: 10.1016/j.psep.2019.02.018](https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.018).
9. Fomina N.N., Polyanskij M.M. Components of solid municipal waste in construction compositions. *IOP Conference Series: Earth and environmental Science*. 2019; 337(1). Available from: [doi: 10.1088/1755-1315/337/1/012022](https://doi.org/10.1088/1755-1315/337/1/012022).
10. Фомина Н.Н., Хозин В.Г. Термопластичное связующее из полимерных отходов // Строительные материалы. — 2021. — № 1–2. — С. 105–114. — DOI: 10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-00-00.
11. Рзаев К.В. Текущее состояние и тренды рынка переработки отходов пластмасс в России // Полимерные материалы. — 2020. — № 8. — С. 4–10.
12. Marisa J., Bourdon S., Brossard J.-M., Cauret L., Fontaine L., Montembault V. Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. *Polymer Degradation and Stability*. 2018; 147. Available from: [doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.11.001](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.11.001).
13. Flory P.J. Thermodynamics of high polymer solutions. *The Journal of Chemical Physics*. 1941; 9(8): 660–661.
14. Huggins M.L. Solutions of long chain compounds. *The Journal of Chemical Physics*. 1941; 9(5): 440.
15. Полимерные смеси. Том 1: Систематика / под ред. Д.Р. Пола и К.Б. Бакнелла. — СПб.: Научные основы и технологии, 2009. — 618 с.
16. Полимерные смеси. Том 2: Функциональные свойства / под ред. Д.Р. Пола и К.Б. Бакнелла. — СПб.: Научные основы и технологии, 2009. — 606 с.

17. Заикин А.Е., Бобров Г.Б. Влияние перекиси на свойства смеси полипропилена и сополимера этилена с винилацетатом // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — № 15 (7). — С. 67–70.
18. Заикин А.Е., Бобров Г.Б. Снижение порога перколяции технического углерода в смесях полимеров // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — 15 (18). — С. 119–125.
19. Заикин А.Е., Бобров Г.Б. Компатибилизация смесей несовместимых полимеров наполнением // Высокомолекулярные соединения. — Серия А. — 2012. — № 54 (8). — С. 1275–1282.
20. Аскадский А.А. Вторичные полимерные материалы (механические и барьерные свойства, пластификация, смеси и нанокмозиты) / А.А. Аскадский, Т.А. Мацеевич, М.Н. Попова. — М.: Издательство АСВ, 2017. — С. 496 с.
21. Микитаев М.А., Козлов Г.В., Микитаев А.К. Структурный анализ совместимости полимерных смесей // Пластические массы. — 2017. — № 1–2. — С. 20–23.
22. Bruggen E. P. A., Koster R. P., Picken S. J., Ragaert K. Influence of Processing Parameters and Composition on the Effective Compatibilization of Polypropylene–Poly(ethyleneterephthalate) Blends. *International Polymer Processing*. 2016; 31(2): 179–187. Available from: [doi: 10.3139/217.3124](https://doi.org/10.3139/217.3124).
23. Jayanarayanan K., Thomas S., Joseph K. Effect of compatibilizer on the morphology development, static and dynamic mechanical properties of polymer–polymer composites from LDPE and PET. *International Journal of Plastics Technology*. 2015; 19(1): 84–105. Available from: [doi: 10.1007/s12588-015-9108-1](https://doi.org/10.1007/s12588-015-9108-1).
24. Utracki L. Compatibilization of Polymer Blends. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2002; 80: 1008–1016. Available from: [doi: 10.1002/cjce.5450800601](https://doi.org/10.1002/cjce.5450800601).
25. Ma P., Cai X., Zhang Y., Wang S., Dong W., Chen M., Lemstra P.J. In-situ compatibilization of poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends by using dicumyl peroxide as a free-radical initiator. *Polymer Degradation and Stability*. 2014; 102: 145–151. Available from: [doi: 10.1016/j.polyimdegradstab.2014.01.025](https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2014.01.025).
26. Wang Y., Li D., Zhang J.-M., Xie X.-M. Compatibilization and toughening of immiscible ternary blends of polyamide 6, polypropylene (or a propylene–ethylene copolymer), and polystyrene. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011; 11(3): 1652–1658. Available from: [doi: 10.1002/app.32839](https://doi.org/10.1002/app.32839).
27. Gu J., Xu H., Wu C. Thermal and crystallization properties of HDPE and HDPE/PP blends modified with DCP. *Advances in Polymer Technology*. 2014; 33(1). Available from: [doi: 10.1002/adv.21384](https://doi.org/10.1002/adv.21384).
28. Abdel Tawab K., Ibrahim S.M., Magida M.M. The effect of gamma irradiation on mechanical, and thermal properties of recycling polyethylene terephthalate and low density polyethylene (R-PET/LDPE) blend compatibilized by ethylene vinyl acetate (EVA). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2012; 295(2): 1313–1319. Available from: [doi: 10.1007/s10967-012-2163-6](https://doi.org/10.1007/s10967-012-2163-6).
29. Baccouch Z., Mbarek S., Jaziri M. Experimental investigation of the effects of a compatibilizing agent on the properties of a recycled poly(ethylene terephthalate)/ polypropylene blend. *Polymer Bulletin*. 2016; 1–18. Available from: [doi: 10.1007/s00289-016-1748-6](https://doi.org/10.1007/s00289-016-1748-6).
30. Chen R.S., Ghani M.H., Salleh M.N., Ahmad S., Gan S. Influence of blend composition and compatibilizer on mechanical and morphological properties of recycled HDPE/PET blends. *Materials Sciences and Applications*. 2014; 5(13): 943–952. Available from: [doi: 10.4236/msa.2014.513096](https://doi.org/10.4236/msa.2014.513096).
31. Pantyukhov P., Popov A., Kolesnikova N. Preparation, structure, and properties of biocomposites based on low-density polyethylene and lignocellulosic fillers. *Polymer Composites*. 2016; 37(5): 1461–1472. Available from: [doi: 10.1002/pc.23315](https://doi.org/10.1002/pc.23315).
32. Higgins J. S., Lipson J. E. G., White R. P. A Simple Approach to Polymer Mixture Miscibility. *Philosophical Transactions of Royal Society A*. 2010; 368: 1009–1025. Available from: [doi:10.1098/rsta.2009.0215](https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0215).
33. Tsai C.H., Chang F.C. Polymer Blends of PBT and PP Compatibilized by Ethylene-co-Glycidyl Methacrylate Copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 1996; 61: 321–332.
34. Yildirim E., Yurtsever M. A Comparative Study on the Efficiencies of Polyethylene Compatibilizers by Using Theoretical Methods. *Journal of Polymer Research*. 2012; 19. Available from: [doi: 10.1007/s10965-011-9771-7](https://doi.org/10.1007/s10965-011-9771-7).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фомина Наталья Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные материалы, конструкции и технологии» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7882-1325>, e-mail: fominanani@yandex.ru

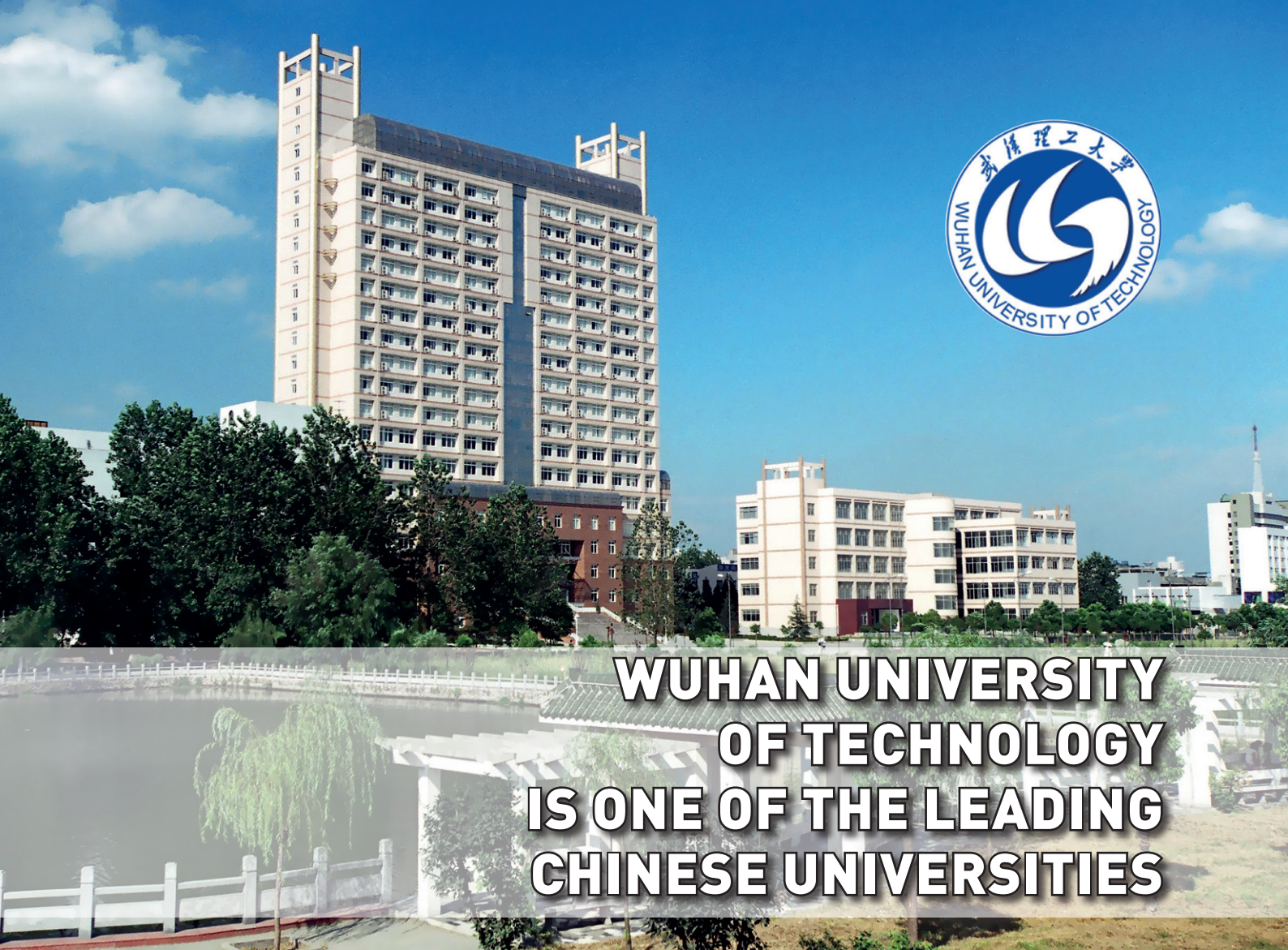
Хозин Вадим Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0874-316X>, e-mail: khozin.vadim@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 15.07.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 03.08.2021.

Статья принята к публикации: 06.08.2021.



WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IS ONE OF THE LEADING CHINESE UNIVERSITIES

About Wuhan University of Technology

Wuhan University of Technology (hereafter referred to as WUT) was merged on May 27th 2000, from the former Wuhan University of Technology (established in 1948), Wuhan Transportation University (established in 1946) and Wuhan Automotive Polytechnic University (established in 1958). WUT is one of the leading Chinese universities under the direct administration of the Ministry of Education and one of the universities in the country's construction plan of world-class universities and first-class disciplines. WUT is also jointly constructed by the Ministry of Education, the Ministry of Transport, the State Oceanic Administration and the State Administration of Science, Technology and Industry for National Defense. In the past 70 years, WUT has fostered over 500,000 engineers and technicians, maintaining itself the largest scale university under the direct administration of the Ministry of Education for nurturing talents oriented in the three industrial sectors: building materials industry, transportation industry and automobile industry and retaining itself an important base of nurturing high-level talents for the three indus-

trial sectors as well as providing significant scientific and technological achievements.

With the practice of long-term student's education, WUT has formed educational ideology system with distinctive characteristics: focusing on the lofty ideal of building an excellent university to win a worldwide recognition and admiration, the University has forged the spirit of «Sound in Morality, Broad in Learning and Pursuing Excellence», promoted the guiding principle of «take the students cultivation as our essence, and take academic development as our priority», and exercised the educational concept of «implementing excellent education, nurturing excellent talents and creating an excellent life». WUT is committed to building an excellent university that provides an excellent education to lead our students to a fulfilled life with excellent pursuit and excellent capability.

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 5,508 staff members, including 3,282 full-time academic staff members, 1 academician of China Academy of Science, 3 aca-



demicians of China Academy of Engineering, 1 foreign member of the Russian Academy of Engineering, 1 member of European Academy of Sciences, 1 fellow of Australian Academy of Technological Sciences and Engineering and 1 member of World Academy of Ceramics. Besides, the University has held public global recruitment of 30 world-renowned professors to be its «Strategic Scientists» in the area of Materials Science & Engineering, Mechanical Engineering, Information Technology and Naval Architecture & Ocean Engineering. WUT owns a great number of academic staff members listed in national high-level talents programs, with 28 of them listed in the Recruitment Program of Global Experts» (known as »the Thousand Talents Plan«), 6 listed in «Ten Thousand Talents Program», 14 listed in «Cheung Kong Scholars Program», 7 listed in «The National Science Fund for Distinguished Young Scholars», 3 listed in «National Renowned Teachers» and 11 listed in «The New Century National Hundred, Thousand and Ten Thousand Talent Project».

The University owns 24 academic schools, 4 State Key Laboratories, 8 State key Disciplines, 77 Doctoral programs, 226 Master's programs as well as 90 Bachelor's programs. The University has 54,986 students, including 36,452 undergraduates, 17,224 postgraduates (Master and PhD students), and 1,310 international students. Besides, Material Science, Engineering Science and Chemistry rank the top 5% in ESI (Essential Science Indicators) global discipline ranking list.

WUT owns 34 innovative research centers with international leading level including two State Key Laboratories, one State Engineering Laboratory, one National Engineering Research Center and ministerial or provincial level laboratories in the areas of new materials and build-

ing materials, transportation and logistics, mechatronics and automobile, information technology, new energy, resources and environmental technology as well as Public Safety and Emergency Management. Meanwhile, the University has established about 230 Joint Research Centers with local governments and enterprises. From 2010, WUT has obtained 14 National Science and Technology Awards, ranking in the forefront of Chinese higher education institutions.

WUT has established cooperative relations for students exchange and scientific research with more than 190 foreign universities and research institutions from USA, UK, Japan, France, Australia, Russia and the Netherlands, etc. and invited over 300 international famous scholars to be strategic scientist, guest professors or honorary professors. From 2007, WUT was authorized to establish 5 Bases of Foreign Outstanding Expertise-Introduction for Disciplines Innovation in China Leading Universities in Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Advanced Technology for High Performance Ship, Advanced Technology for Functional Film Materials Fabrication and Its Application in Engineering, Key Technology for New Energy Vehicles and Environmental-friendly Building Materials. As well, the International Joint Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, the Base of International Science and Technology Cooperation in Environmental-friendly Building Materials, the base of International Science and Technology Cooperation on Smart Shipping and Maritime Safety. From 2009, WUT has established 14 International Joint Research Centers with internationally renowned institutions from USA, UK, Italy and the Netherlands, including

the «WUT-UM Joint New Energy Material and Conversion Technology Key Laboratory» with the University of Michigan, the «WUT-UoS High Performance Ship Technology Joint Center» with the University of Southampton and the «Joint Research Center for Intelligent Ship and Traffic» with Delft University of Technology. In 2016, an international college initiative – the UWTSD Wuhan Ligong College was established in Swansea in partnership with the University of Wales Trinity Saint David, UK.

In 2017, the University was listed in *Times Higher Education World University Rankings*, *QS Asia University Rankings*, *U.S. News Best Global Universities Rankings* and *ShanghaiRank's Academic Ranking of World Universities*.

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

Driven by the great demand for national higher education reformation, the International School of Materials Science and Engineering (hereafter referred to as ISMSE), Wuhan University of Technology (hereafter referred to as WUT) is aimed to build the top-notch innovative talent training base and knowledge innovation centre of Materials Science and Engineering.

WUT is one of the leading Chinese universities under the direct administration of the Ministry of Education and one of the universities constructed in priority by the «State 211 Project» for Chinese higher education institutions.

Since 1996, WUT has implemented the talent cultivation system reforms through setting up pilot classes, including international cultivation programs, under-

graduate-Master program and undergraduate-PhD. program. 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 State Administration of Foreign Experts Affairs. ISMSE is devoted to building the world-leading MSE discipline through optimization of a high-level research and teaching team and establishment of an innovative talents training system, thereby to support the development of materials industry as a technology platform as well as a talent pool.

WUT's Discipline «Material Science and Engineering» enters Top 2% in the Fourth China Discipline Ranking

China Academic Degrees & Graduate Education Development Center (CDGDC) has recently announced the results of the Fourth China Discipline Ranking, with WUT's Discipline «Material Science and Engineering» listed at the highest level: Level A+ (3 universities listed in all, ranking Top 2% in China).

Among the evaluated disciplines, four disciplines of WUT including Mechanical Engineering, Transportation Engineering, Design Science and Marxist Theory are listed at the Level B+ (ranking top 10%–20%), and six disciplines are listed at the Level B (ranking top 20%–30%), including Applied Economics, Civil Engineering, Information and Communication Engineering, Computer Science and Technology, Environmental Science and Engineering and Management Science and Engineering.





Compared with the former three China Discipline rankings, the discipline rankings of WUT has witnessed a substantial improvement, with the discipline of Top 2% rising from scratch. Meanwhile, the number of Top 10%–20% disciplines has increased from zero to four, Top 20%–30% disciplines from four to six. The followings are the disciplines with remarkable improvements: Material Science and Engineering, Mechanical Engineering, Transportation Engineering, Marxist Theory and Applied Economics, etc.

Since the merge of three schools in 2000, driven by the national construction of significant projects such as «State Project 211» and «985 Innovation Platform for Superior Disciplines», WUT's discipline of «Material Science and Engineering» has witnessed a significant growth in disciplinary connotations presented in high-level faculty, scientific researches, cultivation of innovative talents, and international cooperation communications, etc. The discipline's overall strength and level have been boosted in the past years, ranking rising from No. 22 in 2002 to No. 5 in 2012, and further up to No. 3 in this year. Over the past 70 years, the discipline has cultivated a large number of high-level talents for our national building materials and new materials industry with more than 100 significant scientific and technological achievements. It has made historic contributions to the development of the national building materials industry, promoting the Chinese building materials industry to grow steadily to take the lead in the world building industries now.

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

The State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing (short for SKL) is a state key Laboratory in the area of advanced materials which was funded by the National Planning Commission and established in Wuhan University of Technology in 1987. The SKL is under supervision of the administration of the Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Professor Gu Binglin, an Academician of Chinese Academy of Sciences, is the director of the academic committee of SKL and Professor Zhengyi Fu is the current director of SKL.

SKL aims at the frontiers of world materials science and major national needs, builds a world-class material composite and preparation technology platform, and develops key new materials for the development of national sophisticated weapons and emerging industries to support national strategies; SKL produces original and systematic research results with international influence in transformative technology and frontier new materials and their intersecting fields, leading international development in the research of a number of strategic frontier new material; SKL leads in the training of top-notch innovation talents in world-class disciplines of materials science and engineering with outstanding scientific research, creating an international

collaborative innovation culture, conducting «strong-strong» international cooperation research to enhance the laboratory's international influence, attractiveness and cohesion.

Focusing on the overall positioning and goals, SKL will create and develop multi-component, multi-scale, multi-level composite principle and material design theory as important guides to build material gradient composite technology, in-situ composite technology, nano-composite technology and integrated innovation platform as the core support, to study advanced composite materials for advanced weaponry and equipment for defense, efficient energy conversion and storage materials for new energy technologies, nano-composite biomaterials for life sciences, information functional materials for information technology and transformation-oriented technology. SKL has formed the following five distinctive research directions: gradient composite technology and new materials, in-situ composite technology and new materials, nano-composite technologies and new materials, transformative technologies and cutting-edge new materials, material composite principles and material design.

SKL employs 103 full time researchers, including 1 academician of Chinese Academy of Sciences, 2 academicians of Chinese Academy of Engineering, 1 academician of Belgian Royal Academy of Sciences and European Academy of Sciences, 1 academician of World Academy of Ceramics, 12 Distinguished Foreign Experts, 1 973 Program Chief Scientist, 5 winners for Outstanding Youth Training Fund, 4 leading talents of National Ten Thousand People Program, 7 winners for Pacesetter Engineering in the New Century, 5 Cheung-Kong Scholars, and 18 winners for the New Century Excellent Talents Support Plan of the Ministry of Education. It is a spirited team of innovation and creation. SKL encourages young scholars to visit famous international universities or research institutes for further improvement and cooperation. In recent years, the lab has sent more than 20 young scholars to engage in studies and research collaboration abroad.

SKL has accomplished win-win cooperation with internationally renowned research institutes such as the University of Michigan, the Japan Aerospace Technology Development Agency, the Institute of Metal Materials of Tohoku University in Japan, the Material Research Center of the University of Oxford in the United



Kingdom, the Composite Materials Research Center of the University of California, and the National Institute of Fuel Cell Research in Canada. Based on SKL, the Ministry of Science and Technology has established the International Joint Laboratory for New Materials and Compound Technologies, which is one of the first batches of 33 international joint laboratories in the China. The State Administration of Foreign Experts Affairs and the Ministry of Education established the Innovation and Intelligence Base for Material Composite new Technology and Advanced Functional Materials and Advanced Preparation Technology and Application Engineering of new Functional Thin Film Materials. SKL has established the WUT – Harvard University Nano Joint Laboratory, Joint Laboratory of New Energy Materials and Technology of Wuhan University of Technology–University of Michigan, Wuhan University of Technology–University of California, Davis, Multiplex Multi-scale New Technology Laboratory for Composite Materials, Wuhan University of Technology–Oxford Advanced Composite Ceramics Laboratory Etc.. Relying on those important international collaborative research platforms, SKL has undertaken a number international cooperation projects.

With an area of 25350 m², SKL possesses the required equipment for advanced materials synthesis and processing, material structure analysis, characterization and performance test, in total value of about 225.38 million RMB.

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
Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

R



УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

Уханьский университет технологий (далее УУТ) был образован 27 мая 2000 года от бывшего Уханьского университета технологий (основан в 1948 г.), Уханьского университета транспорта (основан в 1946 г.) и Уханьского автомобильно-строительного политехнического университета (основан в 1958 г.). УУТ является одним из ведущих китайских университетов, подчиняющихся Министерству образования, и одним из университетов, входящих в государственную программу по созданию университетов мирового уровня с высокопрофессиональной подготовкой по основным специальностям. УУТ также совместно курируется Министерством образования, Министерством транспорта, Государственным океаническим управлением и Государственным управлением по науке, технологиям и национальной безопасности. В предыдущие 70 лет УУТ выпустил более 500 000 инженеров и технических специалистов, став, таким образом, крупнейшим университетом по подготовке кадров в трех областях промышленности – строительных материалах, транспорте и автомобилестроении. Помимо подготовки высокопрофессиональных специалистов для вышеуказанных областей промышленности, УУТ также достигает значительных научных и технологических результатов.

На основе длительного обучения студентов УУТ сформировал образовательную модель с отличительными особенностями: уделяя много внимания и сил высокому идеалу развития учреждения, который обладал бы всемирным уважением и признанием, университет несет идею «твердости в этике, всесторонности в образовании и развитии высокого мастерства» и следует основному принципу: «развитие студентов – это наша сущность, развитие науки – приоритет». УУТ реализует образовательную концепцию «обеспечения превосходного обучения, взращивания высококвалифицированных специалистов и создания прекрасной жизни». УУТ несет ответственность за создание учреждения, который обеспечит качественное образование с целью подготовки студентов к жизни с востребованной профессией и отличными навыками.

Университет обладает тремя основными кампусами: Мафангшан, Юдзитоу и Сауф Лейк, которые занимают, в общей сложности, площадь 267 гектаров. В настоящий момент численность штата УУТ составляет 5 508 человек, включая 3 282 штатных единицы профессорско-преподавательского состава, 1 академика Китайской академии наук, 3 академиков Китайской инженерной академии, 1 иностранного члена Российской инженерной академии, 1 члена Европейской академии наук, 1 члена Австралийской академии технологических наук и инженерного искусства и 1 члена Международной

академии керамики. Кроме того, Университет привлёк к работе 30 профессоров с мировой известностью в качестве «стратегических ученых» в области материаловедения и инженерного дела, машиностроения, информационных технологий, кораблестроения и морского строительства. В УУТ работает много академических сотрудников из национальной программы поддержки высококвалифицированных кадров, из них 28 входят в Программу рекрутинга международных экспертов (также известной как Программа тысячи специалистов), 6 – в Программу десяти тысяч специалистов, 14 – в Программу ученых Ченг Конг, 7 являются лауреатами Национального научного фонда для молодых выдающихся ученых, 3 входят в Национальную программу заслуженных преподавателей и 11 – в Национальный проект сотни, тысячи и десяти тысяч специалистов нового века.

Университет включает 24 научные школы, 4 государственных ключевые лаборатории, 8 государственных ключевых специальностей, 77 образовательных программ аспирантуры и докторантуры, 226 программ магистратуры, а также 90 программ бакалавриата. В университете 54 986 обучающихся, среди которых 36 452 студентов бакалавриата, 17 224 студентов магистратуры и аспирантов, а также 1 310 иностранных студентов. Более того, публикации по материаловедению, инженерному делу и химии занимают верхние 5% в наукометрической базе Института научной информации США (Essential Science Indicators) международного рейтинга областей знаний.

УУТ располагает 34 инновационными исследовательскими центрами международного уровня, включая две государственные ключевые лаборатории, одну государственную инженерную лабораторию, один национальный инжиниринговый исследовательский центр, а также лаборатории ведомственного или областного подчинения в сфере новых материалов и строительных материалов, транспорта и логистики, мехатроники и автомобилестроения, информационных технологий, новых видов энергии, ресурсов и технологий защиты окружающей среды, а также управления общественной безопасностью и чрезвычайными ситуациями. Вместе с тем, университет основал около 230 исследовательских центров совместно с муниципальными властями и местными предприятиями. Начиная с 2010 года, УУТ получил 14 государственных премий по науке и технологиям, заняв топовые позиции в рейтинге китайских высших учебных заведений.

УУТ установил связи для студенческого обмена и научных исследований с более, чем 190 иностранными университетами и научными институтами из США, Великобритании, Японии, Франции,

Австралии, России, Нидерландов и др., а также пригласил более 300 всемирно известных исследователей в качестве стратегических ученых, приглашенных и почетных профессоров. С 2007 года УУТ получил право основать в ведущих китайских университетах 5 базовых центров внедрения иностранных профессиональных направлений в следующих областях: перспективные технологии для синтеза и обработки материалов, перспективные технологии для высокопроизводительных кораблей, перспективные технологии для производства функциональных пленочных материалов и его использование в инженерии, ключевые технологии для транспортных средств с использованием альтернативных видов энергии и экологических строительных материалов. Кроме того, университетом были основаны: Международная совместная лаборатория перспективных технологий для синтеза и обработки материалов, База международного научно-технического сотрудничества в области экологических строительных материалов, База международного научно-технического сотрудничества в области интеллектуального кораблестроения и морской безопасности. С 2009 года УУТ создал 14 международных совместных исследовательских центров с международно признанными институтами из США, Великобритании, Италии и Нидерландов, включая ключевую лабораторию технологий новых энергоносителей и конверсии (совместно с Мичиганским университетом). В этом плане с ним активно сотрудничали Саутгемптонский университет, центр технологий высокопроизводительных кораблей, а также Совместный исследовательский центр интеллектуального кораблестроения и движения (вместе с Делфтским техническим университетом). В 2016 году в партнерстве с Университетом Уэльс Тринити Сейнт Дэвид (Великобритания) в Суонси был основан международный UWTSD Уханьский Лигонг Колледж.

В 2017 Университет вошел в такие рейтинги, как *Times Higher Education World University Rankings*, *QS Asia University Rankings*, *U.S. News Best Global Universities Rankings* and *Shanghai Ranking's Academic Ranking of World Universities*.

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

В связи с большой необходимостью реформы национальной системы высшего образования, деятельность Международной школы материаловедения и инженерного дела (далее МШМиИД) УУТ направлена на создание первоклассной инновационной площадки для подготовки высококвалифици-

цированных кадров и инновационного центра знаний материаловедения и инженерного дела.

УУТ — один из ведущих китайских университетов под управлением Министерства образования и один из университетов, приоритетно построенного в рамках государственного проекта «State 211 Project» для китайских высших учебных заведений.

С 1996 года УУТ реализовал изменения в системе подготовки кадров путем проведения плотных занятий, включая международные программы, программы магистратуры и аспирантуры. МШМиИД была основана в апреле 2014 года и утверждена Департаментом образования провинции Хубэй. В июне 2015 года МШМиИД была внесена в перечень «Сети международных образовательных центров», поддерживаемый Министерством образования КНР и Министерством международного сотрудничества. Деятельность МШМиИД посвящена разработке знаний в области материаловедения и инженерного дела за счет оптимизации высокоуровневых исследований и преподавательского состава, а также основанию инновационной системы подготовки специалистов с целью развития индустрии материалов как технологической платформы и кузницы кадров.

Специальность УУТ «Материаловедение и инженерное дело» вошла в топовые 2% в четвертом рейтинге специальностей Китая

Центр развития китайского академического образования недавно объявил результаты четвертого рейтинга специальностей Китая: специальность УУТ «Материаловедение и инженерное дело» заняла самый высокий уровень — уровень A+ (3 университета занимают этот уровень, образуя топовые 2% в Китае).

Среди оцениваемых специальностей — 4 специальности УУТ (машиностроение, транспортная инженерия, дизайн и теория марксизма) заняли уровень В+ (10–20% верхних позиций рейтинга) и 6 специальностей расположились на уровне В (20–30% верхних позиций рейтинга), а это: прикладная экономика, гражданское строительство, информационные и коммуникационные технологии, теория вычислительных машин и систем, защита окружающей среды и инженерное дело, менеджмент и инженерное дело.

По сравнению с бывшими тремя рейтингами специальностей в Китае позиции УУТ значительно улучшились, поднявшись до верхних 2% практи-





чески с нуля. Вместе с тем, число специальностей, занимающих верхние 10–20% строчек, выросло с 0 до 4, из 20–30% верхних строчек — с 4 до 6. Такие специальности, как материаловедение и инженерное дело, машиностроение, транспортная инженерия, теория марксизма и прикладная экономика, показали заметные результаты.

В связи с тем, что в 2000 году появились три школы в рамках реализации государственных крупномасштабных проектов, таких как «Государственный проект 211» и «985 Инновационная платформа для высших специальностей», значимость специальности «Материаловедение и инженерное дело» в рамках факультета, научных изысканий, подготовки инновационных кадров и международного сотрудничества значительно выросла. За последние несколько лет важность специальности и ее уровень были расширены, подняв ее с 22 места в рейтинге в 2002 году до 5 места в 2012 и до 3 места в текущем году. За 70 лет обучения по этой специальности для страны были подготовлены высококвалифицированные кадры для строительства и индустрии производства строительных материалов и получены более 100 научно-технических достижений. Все это стало историческим вкладом в развитие национальной индустрии стройматериалов, обеспечивая ее стабильный рост для занятия ведущего положения в мировом производстве строительных материалов.

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов (кратко ГКЛ) — это государственная лаборатория в области передовых материалов, основанная Государственным плановым комитетом в УУТ в 1987 г. ГКЛ находится под руководством Министерства науки и технологий КНР. В настоящий момент научный комитет ГКЛ возглавляет член Китайской академии наук профессор Гу Бинглин и нынешний директор ГКЛ профессор Эфу Дженьги.

Деятельность ГКЛ направлена на передовые достижения в материаловедении и выполнение государственных заказов в этой области. В ГКЛ занимаются созданием высококачественных композитных материалов и разработкой стратегически важных материалов с целью их использования в национальной системе обороны и развивающихся промышленности для обеспечения политики государства; ГКЛ проводит нестандартные и системные исследования мирового опыта в трансформативных технологиях и новейших материалов, а также в междисциплинарных областях, выполняя международные разработки некоторых ключевых новей-

ших материалов; ГКЛ является ведущей лабораторией по подготовке высококвалифицированных специалистов по материаловедческим специальностям и инженерному делу с научными изысканиями. ГКЛ развивает международную культуру инновационного сотрудничества, проводя совместные межгосударственные исследования для расширения сотрудничества с другими странами, влияния отечественной культуры и ее привлекательности в мире.

Фокусируясь на общих целях и задачах, ГКЛ создает и разрабатывает многокомпонентную, разномасштабную и многоуровневую теорию проектирования материалов. Она станет важным руководством для разработки технологии градиентных композитных материалов, технологии композитных сборных материалов, технологии нанокompозитов и интегрированной инновационной платформы в качестве главной опоры. Она также позволит изучать перспективные композитные материалы для улучшения военного оснащения и вооружения, материалы, способствующие рациональному использованию энергетических ресурсов для новых энергоэффективных технологий, нанокompозитные биоматериалы для медико-биологических наук, функциональные материалы для информационных технологий и трансформационно-ориентированных технологий. ГКЛ определил 5 научных направлений исследований: градиентные композиционные технологии и новые материалы, технологии композитных сборных материалов, нанокompозитные технологии и новые материалы, преобразующие технологии и передовые материалы, проектирование материалов и основы композитных материалов.

В ГКЛ работают 103 штатных научных сотрудника, 1 академик Китайской академии наук, 2 академика Китайской инженерной академии, 1 академик Бельгийской королевской академии наук и Европейской академии наук, 1 академик Международной академии керамики, 12 почетных иностранных экспертов, 1973 научных руководителей программ, 5 стипендиатов Фонда подготовки талантливой молодежи, 4 ведущих специалиста из Национальной программы десяти тысяч специалистов, 7 победителей премии Pacesetter Engineering in the New Century, 5 стипендиатов премии Ченг Конг и 18 победителей Проекта поддержки высококлассных

специалистов нового века Министерства образования. Это команда, вдохновленная инновациями и созидательным процессом. ГКЛ мотивирует молодых ученых посещать знаменитые международные университеты или исследовательские институты в целях установления сотрудничества. За последнее время лаборатория отправила более 20 молодых специалистов для участия в совместных исследованиях за границу.

ГКЛ установило взаимовыгодное сотрудничество со всемирно известными научными институтами: Мичиганским университетом, Японским агентством авиакосмических технологий, Институтом металлов университета Тохoku в Японии, Центром материаловедения Оксфордского университета в Великобритании, Научным центром композитных материалов Калифорнийского университета и Национальным институтом исследования топливных элементов в Канаде. На основе ГКЛ Министерство науки и технологий основал Международную лабораторию новых материалов и комплексных технологий, которая стала одним из первых филиалов из 33 международных совместных лабораторий в Китае. Руководство Министерства международного сотрудничества и Министерства образования учредили Базу инноваций и знаний для новых технологий создания композитных материалов и улучшенных функциональных материалов, а также для усовершенствованной технологии производства и разработки инженерных решений новых функциональных тонких пленочных материалов. ГКЛ основал совместную нанолaborаторию между УУТ и Гарвардским университетом, совместную лабораторию новых энергоносителей и технологий между УУТ и Мичиганским университетом, комплексную лабораторию разномасштабных технологий композиционных материалов между УУТ и Лабораторией улучшенной композитной керамики Оксфорда. Опираясь на указанные международные исследовательские площадки, ГКЛ приняло участие в целой серии совместных международных проектов.

На площади 25 350 кв.м. ГКЛ расположено необходимое оборудование для синтеза и обработки улучшенных материалов и для проведения структурного анализа материалов, испытаний их эксплуатационных характеристик общей стоимостью около 22 538 млн юаней.

Контактная информация

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: sklwt@whut.edu.cn
Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

R



Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part IV

L.A. Ivanov^{1*} , L.D. Xu² , Zh.V. Pisarenko³ , C.T. Nguyen⁴ , S.R. Muminova⁵

¹ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

² Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA

³ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Vietnam Academy of Social Sciences, Hanoi, Vietnam

⁵ Center for New Technologies "Nanostroitel'stvo", Korolev, Moscow region, 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 paper briefly reviews inventions made by scientists, engineers and specialists from different countries: Russia, USA, China, Belarus, Great Britain, Vietnam, Denmark, the Kyrgyz Republic. The application of the results of scientists' engineers' and specialists' investigations, including inventions in the area of nanotechnology and nanomaterials allow achieving significant efficiency in construction, house and communal service, related sectors of economy. For example, the invention "A method to modify concrete with complex additive which includes hydrothermal nanoparticles SiO₂ and multi-layer carbon nanotubes" refers to methods of modifying concrete by introducing combination of nanoparticles with high specific surface into concrete mixture and can be used in production of precast and monolithic parts and structures of buildings and facilities of different purpose. This method of nanomodifying concrete makes it possible to achieve increased mechanical characteristics of concrete: compressive strength (25–77% at the age of 28 days) and bending strength, resistance to damage, Young's mod of elasticity and shearing modulus, density (up to 10%), accelerated hardening at the early age and rate of strength development, decreased water absorption ability and improved indicators of porous structure (pore size and pore differential size uniformity), decreased total capillary porosity, increased frost resistance. The specialists can also be interested in the following nanotechnological inventions: a method to obtain polycrystalline diamond films; phase change materials for building construction: an overview of nano-/microencapsulation, solar collector of transpiration type; a method to obtain composition for antimicrobial coating on the basis of silver sulphide associates with molecules of methylene blue; broadband electromagnetic absorbing coating; a method to produce dry building mixtures; self-organizing nanostructures and separation membrane including aquaporin water channels and the methods to produce and use them; a method to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure, etc. **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.

KEYWORDS: nanotechnologies in construction, nanomodifying of concrete, nanodiamond powders, self-organizing nanostructures, silver nanoparticles, nanocomposite.

ACKNOWLEDGMENTS: This paper has been carried out in the framework of the RFFI 21-510-92001 project "Empowerment of Russia and Vietnam on the World Markets from the Risks Perspective of Ecosystem Financial Conglomerates Development and Transition of National Economies to Industry 4.0".

FOR CITATION: 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: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-242-251.

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

A method to modify concrete with complex additive which includes hydrothermal nanoparticles SiO_2 and multi-layer carbon nanotubes (RU 2750497 C1)

The invention refers to methods of modifying concrete by introducing combination of nanoparticles with high specific surface into concrete mixture and can be used in production of precast and monolithic parts and structures of buildings and facilities of different purpose [1].

Raw mixture for production of precast and monolithic parts and structures contains Portland cement, sand, broken natural stone, complex additive and water. Complex additive is polycarboxylate super plasticizer, multi-layer carbon nanotubes (MLCN) and hydrothermal nanosilica in the following component ratio, mas. %: Portland cement 14–16; sand 38–40; broken natural stone 41–43; complex additive (respect to cement) 0.8; super plasticizer 0.32–0.4; MLCN 0.00004–0.05; hydrothermal nanoparticles SiO_2 0.000003–0.01; water ($W/C = 0.15$ – 0.5) the rest.

The aim of the invention is to improve characteristics of Portland cement concretes and structure of hydrated calcium silicate gel by using complex additive which contains hydrothermal nanoparticles SiO_2 and carbon nanoparticles. This method of nanomodifying concrete makes it possible to achieve increased mechanical characteristics of concrete: compressive strength (25–77% at the age of 28 days) and bending strength, resistance to damage, Young's mod of elasticity and shearing modulus, density (up to 10%), accelerated hardening at the early age and rate of strength development, decreased water absorption ability and improved indicators of porous structure (pore size and pore differential size uniformity), decreased total capillary porosity, increased frost resistance.

This method allows improving structure of hydrated calcium silicate gel CSH in cement composite materials due to high specific area of surface and specific surface energy of nanoparticles SiO_2 and carbon nanoparticles. The surface of nanoparticles acts as additional centers of crystallization of hydrated calcium silicate particles and polycondensation of silicon-oxygen tetrahedron, that favours increased rate of alite hydration and formation of CSH gel, reduced average sizes and increased volume density of particle packing and mechanical characteristics

in phases CSH gel, increased structural order in phases of CSH gel and in hydrated calcium silicate particles.

A method to obtain polycrystalline diamond films (RU 2750234 C1)

The invention refers to the area of obtaining polycrystalline diamond films which are used in manufacture of thermal conduction module, ionizing-radiation detectors, infrared windows, strengthened and wear-resistant coatings on the details and cutting tools.

Polycrystalline diamond films consist of diamond crystallites, which sizes, ratio of crystalline and amorphous phases strongly affect physical properties of such films. It was determined that reduced crystallite sizes and ratio of diamond and amorphous phases in polycrystalline diamond films makes it possible to significantly roughness of growth surface, that leads to changes in electric, optical and emission characteristics of films. As a rule, the start of growth of polycrystalline diamond films (diamond coatings) is followed by the period, during which diamond seeds are formed on the base. These seeds act as the nucleation centers of diamond phase of the film. Nanodiamond powders are used as diamond seeds. Higher and more even density of the diamond seeds with minimum dimensional dispersion on the base surface allows reducing sizes of diamond film crystallites and obtaining solid ultrathin diamond films with smooth surfaces [2].

The method is performed in the following way. To apply nanodiamond powder on silica base, one needs, at first, to prepare suspension from nanodiamond powder and liquid and then to impact on suspension with ultrasonic vibrations which power is 500–1000 Wt. After that power of ultrasonic vibrations is reduced to 250–350 Wt and silica base is put into the suspension, the base is processed for the time during which nanodiamond particles are precipitated, introducing into base surface. "Seeded" base is taken from suspension, it is washed in deionized water and dried. Base surface is examined with electronic microscope to determine quality of seeding. Then a graphene layer which contains 3–10 monolayers of graphene is precipitated on the base nanodiamond powder. Then the base is placed into reactor to precipitate polycrystalline diamond layer. Material of the base does not depend on the method used to apply polycrystalline diamond films, the base can be made of silica, molybdenous and other materials but it is silica that is preferable material of the base.

Liquid phase is a suspension of nanodiamond powders in liquid. Acetone, isopropyl alcohol, ethanol, water can be used as liquid. Concentration of diamond powders in suspension must provide necessary quantity of diamond phase to obtain "seeding" of the base with proper density and to provide efficient disaggregation of nanodiamond powders in suspension. It is preferably to use nanodia-

mond powders with size 4–10 nm for “seeding” the base, as they are optimal for obtaining high density of “seeding” and film with smooth surface.

Phase change materials for building construction: An overview of nano-/microencapsulation

Buildings contribute to 40% of total global energy consumption, responsible for 38% of greenhouse gas emissions. In the last decade, advances in thermal energy storage (TES) techniques using phase change material (PCM) have gained much attention among researchers, mainly to reduce energy consumption and promote renewable energy sources such as solar energy.

Phase change materials (PCMs) are a group of functional materials that support the same purpose as a function of temperature with the intrinsic capability of absorbing, storing, and releasing thermal energy in the form of latent heat known as enthalpy of fusion during phase transition cycles at their operating temperatures under isothermal conditions. PCM technology is one of the most promising technologies available for developing high-performance and energy-efficient buildings and, therefore, considered one of the most effective and ongoing fields of research. The main limitation of PCM is its leakage problem which limits its potential use in building construction and other applications such as TES and textiles, which can be overcome by employing nano-/micro-encapsulation technologies [3].

This paper comprehensively overviews the nano-/micro-encapsulation technologies, which are mainly classified into three categories, including physical, physiochemical, and chemical methods, and the properties of microcapsules prepared. Among all encapsulation technologies available, the chemical method is commonly used since it offers the best technological approach in terms of encapsulation efficiency and better structural integrity of core material. There is a need to develop a method for synthesizing nano-encapsulated PCMs to achieve enhanced structural stability and better fracture resistance, and, thus, longer service life. The accumulated database of properties/performance of PCMs and synthesized nano-/micro-capsules from various techniques presented in the paper should serve as the most useful information for the production of nano-/micro-capsules with desirable characteristics for building construction application and further innovation of PCM technology.

It will be beneficial to develop and apply nanoencapsulation techniques to synthesize nanocapsules, as they have several desirable characteristics, including better loading capacity and encapsulation efficiency, improved structural stability, and fracture resistance when compared with microcapsules resulting from microencapsulation. To promote the sustainability of the encapsulation technology, it is necessary to utilize biopolymers such as

cellulose/nanocellulose as shell materials because such polymers are environmentally friendly and are available abundantly.

Solar collector of transpiration type (RU 2749242 C2)

Building structures are being improved, that often means better air tightness. Therefore it is of great importance to design such air-ventilation systems that could provide constant supply of fresh air into the building. If supplying fresh air is colder than bleeding warm air, the temperature inside the building can decrease. That may require building heating. Solar collectors of transpiration type can be used for pre-heating of the air supplied into the building, that will allow reducing necessity in heating by means of standard heating systems and providing cost reduction. Moreover, if the external energy is obtained from fossil energy source or nuclear sources, that provides considerable ecological benefits and decrease usage of scarce sources.

The invention refers to solar collector of transpiration type that contains absorbing panel which base is made of stainless steel, surface layer made from chrome oxide is on the front surface of the base and a great number of through holes formed in the base and surface layer, and the thickness of surface layer is at least 70 nanometers and acts as external surface of solar collector of transpiration type [4]. The application also describes a building which comprises this collector installed on the roof or wall in such a way that the surface layer forms external surface of the building and a method to produce solar collector according to which the plate is made of stainless steel containing initial layer of chrome oxide on the front surface and then chemical and electrochemical growing of initial layer of chrome oxide on the front surface to form overgrown layer of chrome oxide, after that many through holes are made in the plate and the plate in the form of absorbing panel of solar collector of transpiration type is formed. Overgrown layer of chrome oxide becomes external surface of solar collector of transpiration type. One should note, the stage of chemical and electrochemical growing of initial layer of chrome oxide is performed prior or after the stage of forming a number of through holes. The invention could decrease radiant heating losses in the atmosphere, provide protection from ultraviolet light to prevent discolourment and damages in the coating, prolong service lifetime.

Fig. shows an example of solar collector of transpiration type 100. Solar collector 100 of transpiration type is located on the external side 102 of the building and contains absorbing panel 108 (a panel with absorbing collector), installed on the wall 106 of the building by means of holderbats (not shown). The absorbing panel 108 contains a number of through holes 110 (punch holes). The absorbing panel 108 is at the distance from

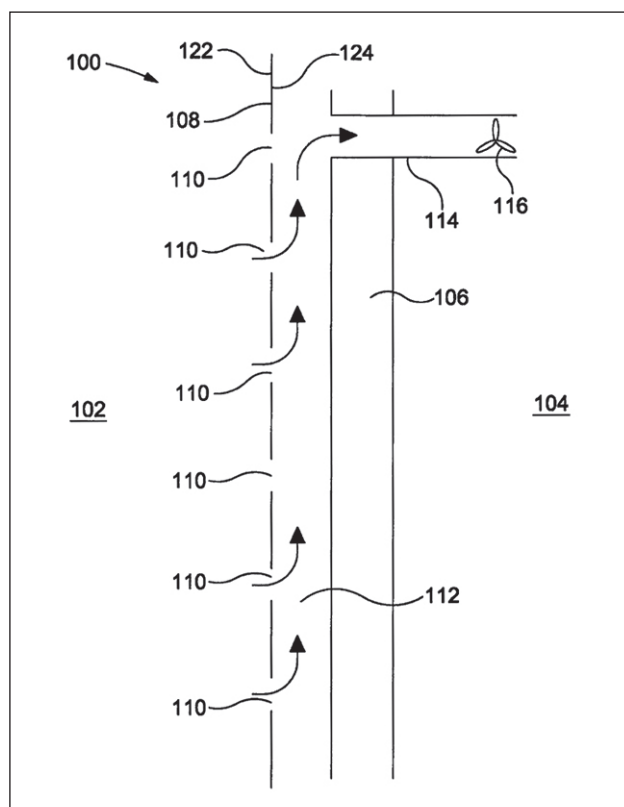


Fig. An example of solar collector of transpiration type

the wall 106, there is air space 112 between the absorbing panel 108 and the wall 106. The air space 112 is connected to fresh air duct 114 of the ventilation system. The fresh air duct 114 is used to supply fresh air into inner space 104 of the building. When operating, absorbing panel 108 absorbs solar radiance, that heats material of the absorbing panel 108. Bound layer which is adjacent to external (front) surface 122 of the absorbing panel 108, is heated by the absorbing plate 108 and is drawn through holes 110 in the air space 112 and then is drawn from space 112 into air outlet 114 by air fan 116. The arrows show air flow through the absorbing panel 108 and ventilation system on the Fig.

A method to obtain composition for antimicrobial coating on the basis of silver sulphide associates with molecules of methylene blue (RU 2750232 C1)

The invention refers to the area of antimicrobial compositions, specifically to the area of obtaining compositions with silver sulphide nanocrystals. Such compositions are added to lacquer materials and are used to disinfect different surfaces.

It is well-known that silver ions and some other metal ions have an ability to inactivate viruses of some flu strains, entero- and adenoviruses. They possess considerable therapeutic effect in medical treatment of some virus human and animal deceases, especially when col-

loid silver is used, respect to standard therapy. Therefore, the promising approach to creation of new generation of antimicrobial compositions is the use of colloid metal nanoparticles and semiconductive nanocrystals as well as hybrid associates on the basis of them.

The scope of the invention is to develop a method to produce composition for antimicrobial coating on the basis of silver sulphide associates with molecules of methylene blue. Hydrophylic property of the composition obtained as a result of this method makes it possible to use it to treat room surfaces and also to provide compatibility with emulsion paints to achieve antimicrobial effect. Created compositions are not volatile, do not possess odor, are not toxic and keep effect for a long time [5].

The technical result of the invention is achieved due to the following stages of the method used to obtain composition for antimicrobial coating on the basis of silver sulphide associates with molecules of methylene blue: synthesis of nanocrystals Ag_2S by consolidating thioglycolic acid and silver nitrate under temperature 30°C and constant mixing with further drop titration with aqueous solution NaOH , and then addition of sodium sulphide solution with further mixing, adding acetone into solution in ratio 1:1; centrifugalization with further decanting of water, addition of solvent and solution of methylene blue in 96% ethanol to sediments. According to the invention, the synthesis is performed by adding 0.0135–0.0154 M of silver nitrate aqueous solution to 0.027–0.03 M of thioglycolic acid aqueous solution under constant mixing with the rate 300–600 rpm and molar ratio 2:1 respectively. Drop titration is performed with 0.1 M of aqueous solution NaOH up to $\text{pH} = 9$, and then adding 0.02–0.023 M of aqueous solution of sodium sulfide (temperature is from 15 to 25°C) under volume ratio thioglycolic acid aqueous solution : silver nitrate aqueous solution : sodium sulphide solution – 2:2:1 respectively. All that is mixed for at least 20 minutes, precipitated and is separated from water soluble resultants by centrifuging at rate 5000 rpm for 30 minutes. Then 50% aqueous ethanolic solution taken in the volume which is equal to the sum of volumes of mixed silver nitrate solution, thioglycolic acid solution and sodium sulphide solution is added to the obtained sediment; solution of methylene blue in 96% ethanol is added.

Broadband electromagnetic absorbing coating (RU 2750215 C1)

The invention refers to electromagnetic absorbing coatings used to absorb electromagnetic radiation in ground, aviation, space and marine technical devices to reduce their radar visibility as well as to absorb electromagnetic radiation in shadowing devices, in absorbing clothings and frameworks, in anechoic measurement chambers and protective facilities for citizens from non-

ionizing radiation [6]. Known electromagnetic absorbing coatings are based on ability to absorb incoming radiation by fine elements: clusters of ferromagnetic particles, ferrites and hydrogenated carbon.

The task of applied invention is to broaden absorption frequency range of the coating, specifically to raise maximum absorption frequency up to ≈ 700 GHz and to decrease minimum absorption frequency to ≈ 10 MHz.

The imposed task is solved by applying nanoparticles of copper-nickel alloy which composition includes 25–50 mas. % Cu and the rest is Ni in absorbing film. At this, raised maximum frequency of absorption band up to ≈ 700 GHz is due to the nanoparticle size which is equal or less than thickness of skin-layer at maximum absorbed frequency (≈ 400 nm at frequency 700 GHz). That provides broad band of electromagnetic radiation absorption frequency because radiation of all frequencies, equal of less than maximum one, penetrates into volume of nanoparticle and is absorbed in it interacting with all Fermi electrons of nanoparticle. This is a result of the fact that the thickness of skin-layer at the frequencies, less than maximum one, is more than a thickness of skin-layer at maximum frequency. Reduction of minimum frequency of absorption band to ≈ 10 MHz is provided by applying technology of absorbing of electromagnetic field quantum with participation of dominating dilatational quantum, i.e. quantum from the area of full width at the mid of maximum (FWMM area) frequency distribution of dilatational quantum, in nanoparticles. In this technology Fermi electron is excited when it absorbs simultaneously radiation quantum and dominating dilatational quantum. And it relaxes, when excites secondary dilatational quantum from FWMM area. Due to participation of dominating quanta in absorption, the intensity of electromagnetic radiation absorption is raised. At this, it is wavelength of dilatational quantum from FWMM area (~ 0.5 nm) which is much less than the size of nanoparticle (≤ 400 nm) that provides participation of dilatational quanta.

Self-organizing nanostructures and separation membrane including aquaporin water channels and the methods to produce and use them (RU 2749848 C2)

The invention refers to self-organizing nanostructures formed by transmembrane proteins, such as aquaporin water channel (AQP) and polyalkyleneimines (PAI) and to filtration membranes which comprise these nanostructures [7]. This invention additionally refers to the methods used to obtain nanostructures and separation membranes, such as hollow fibers and hollow fiber module, to their application.

In general, this invention refers to application of polyalkyleneimines (PAI), such as polyethyleneimine (PEI), in formation of self-organizing nanostructures with trans-

membrane proteins or specified types of integral membrane proteins (proteins that form pores), such as aquaporin water channels. Nanostructures of PAI-protein can be used later in obtaining separation membranes in which transmembrane proteins are immobilized and active, for example, to provide transfer of water molecules through membrane. For example, to obtain separation membranes with transmembrane proteins self-organizing nanostructures can be suspended in aqueous liquid composition that may be involved in reaction of interphase polymerization on semipermeable base with formation of thin film composite active layer of membrane or self-organizing nanostructures can be included in filtration membrane formed by layer-by-layer method or other types of filtration membrane with active selective layer. Without regard to any certain theory, self-organizing nanostructures are considered to emerge due to electrostatic interaction between positive nitrogen atoms which are in polyalkyleneimine molecules and amino acid residues in transmembrane protein which are negative charged under conditions (pH, pK, etc.), used for formation of nanostructures and/or membrane containing these nanostructures.

Thus, the described invention offers separation membranes, such as filtration membranes or TFC membranes, possessing AQP, involved in active layer to enhance water transport. In active layer AQP are immobilized in self-organizing PAI nanostructures, such as self-organizing PEI nanostructures. The invention also offers liquid compositions containing nanostructures on the basis of PAI-protein which can be employed in active layer of different separation membranes (including filtration membranes), such as nanofiltration membranes, forward osmosis membranes and reversed osmosis membranes.

A method to obtain alumina ceramic material, modified with silver nanoparticles (RU 2749340 C1)

The invention refers to the technology for obtaining ceramics containing silver nanoparticles which can be used as filters to decontaminate water from harmful bacteria [8]. It is known that different materials, modified with silver, for example, composites, ceramics, steel, porcelain, faience ware, possess antimicrobial characteristics. In particular, composites on the basis of ultrahigh-molecule weight polyethylene (UHMWPE) modified with silver are known to possess antibacterial properties. In recent years, it is nanostructured silver that has been of great interest.

To create economic and industrial process of producing efficient ceramics which could be used as filters to decontaminate water from harmful bacteria, a method to obtain alumina ceramic material, modified with silver nanoparticles is proposed. There are two stages in this method: preliminary treatment of initial alumina ceramic material with 20% porosity and further impregnation of it. Preliminary treatment of initial alumina ceramic material

consists of: exposure of initial alumina ceramic material to ultrasound, preferable value is 30kHz, for 15–30 min; washing it with distilled water and dipping it into concentrated nitric acid for 2–4 hours, then rewashing with distilled water and drying under temperature 140–160°C. Impregnation stage of ceramic material treated with nanosilver is conducted by dipping the treated ceramic material in solution containing 0.004 mole of silver methane sulfonate or silver trifluoroacetate in 100 ml of ethylene glycol. Then it is kept being shaken and mixed till even distribution of solution on the surface of the material and after that a solution, containing 0.002 mole of ascorbic acid in 100ml of ethylene glycol, is added to it. Than impregnated material is kept being shaken and mixed under room temperature for 1–2 hours, obtained ceramic material is washed with distilled water and is dried under 70–90°C.

A method of synthesis of nanocomposite Mn–O–C (RU 2749814 C1)

The method refers to nanotechnology: plasma arc technology of synthesizing nanocomposite particles of manganese oxide with carbon coating [9]. The invention can be also used as a material for electrodes of supercondensers (SC). Supercondensers are the most promising energy sources as they possess high output and high power capacity at the same time, that differs from traditional accumulator batteries and condensers. High power capacity of supercondensers is due to materials of electrodes. Materials of electrodes in SC are those that combine high specific capacity and long service life, for example, carbon nanomaterials, transition metals and conductive polymers Max-phase and MAXene.

The most promising oxide of transition metal SC electrodes is considered to be manganese oxide (MnOx) due to its high specific capacity (1370 F/g), low cost, wide availability and ecological safety. However, MnOx possess low stability in long cycles, that is caused by charge accumulation mechanism and electrolyte ion doping. When manganese transits from one oxidation state in another, the system becomes uncompensated, that results in doping/deposition of additional ions from electrolyte solution. During this process interlayer space enlarges/reduces, that finally results in fast destroying of crystal structure and material damage. Thus, MnOx oxides are stable only in the course of 1000 – 3000 cycles. The efficient method to increase stability of MnOx is to create composites with amorphous carbon or carbon nanostructures. In such composites carbon acts as a matrix which retain and stabilize particles of MnOx during electrolyte ion doping and metals or their compounds – as active elements. Moreover, carbon is needed to increase electrical conductivity of material, to decrease losses at the interface between active material and collector.

The task of the invention is to create easy-to-use and economic method of synthesizing nanocomposite Mn–O–C with controlled composition of MnOx nanoparticles and degree of carbon matrix graphitization, with high cycle stability and high electrochemical capacity to be used as a material of electrodes in SC. The imposed task is solved by combining traditional methods, in particular, plasma arc synthesis of composite metal-carbon material and annealing of synthesized material in oxygen-containing medium under atmosphere pressure. As a result, obtained material possesses improved characteristics, high cycle stability and high electrochemical capacity, and it can be used as a material of electrodes in SC.

A method to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure (RU 2749736 C1)

The invention refers to Material Science and nanotechnologies, in particular, to obtaining titanium dioxide which can be used in hydrogen power industry and water treatment. The technical result of the invention is creation of the method to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure, in composition of the product with low content of impurity phase [10].

The method to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure is performed in the following way: generating of titanium electrical discharge plasma in the chamber, preliminary vacuumized and filled with oxygen-containing gas mixture under normal atmosphere pressure and room temperature by means of coaxial magnetoplasma accelerator with titanium core and with central electrode consisting of titanium tip and steel shank, with electrically fusible link placed between titanium tip and steel shank, and condenser capacity is 14.4 mF.

According to the invention, titanium electrical discharge plasma is generated with coaxial magnetoplasma accelerator with electrically fusible geoline link which mass is from 0.10 to 0.25 g., spraying plasma in the first chamber filled with gas mixture of argon and oxygen in ratio of partial pressure Ar:O₂ 1:4 and charge voltage of capacitors battery is 2.8 kV, nanocrystalline part of the synthesized product is moved to the second pre-vacuumized chamber, opening overflow valve between chambers in 10 seconds after generation of electrical discharge plasma. After that titanium dioxide with anatase structure is collected from the internal walls of the second chamber.

When capacity energy accumulator between titanium tip of central electrode and titanium core of the accelerator is discharged, arc discharge initiation takes place, as a result of that electrically fusible geoline link gets plasma state. Electronic erosion development of titanium-containing precursor from inner surface of cylindrical electricity conductive titanium core takes place in the process of burning of arc charge. Plasma flow is accelerated up

to hypersonic speed and eroded titanium participates in plasmachemical reaction with oxygen of the first chamber, that provides formation of nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure. Separation of synthesized nanocrystalline anatase from coarse rutile is provided by opening overflow valve and collecting product from the second chamber. The advantage of this method is the use of hydrogen-containing electrically fusible link since geoline, apart of mineral oil, contains hard saturated hydrocarbons. Geoline link is heated, is melted and hydrogen from it is relieved, favouring speeded flow of plasma. This invention allowed obtaining products in which content of nanocrystalline anatase is from 83.2 to 85.7 mas. % and average size of particles is up to 100 nm.

Epoxy composition of cold hardening (RU 2749379 C2)

The invention refers to creation of epoxy compositions of cold hardening used as a base for glues, joint sealers and compounds for encapsulation and repairing items of various materials. Epoxy compositions possess high strength and deformation characteristics during operation process under wide range of temperature, including the conditions in Arctic and Extreme North. The task to gain improved deformation-strength properties is of great importance today.

The essence of the invention is explained by the example [11]. Epoxyurethane oligomer CKY-1400-3A is synthesized in two stages: at the first stage a reaction between oligotetramethyleneoxidediol with molecule mass 1400 (trade mark polyfurite 1400) and 2,4-toluene diisocyanate, taken twice more respect to stoichiometry, runs. The reaction that runs under 80°C in hermetically sealed reactor equipped with mechanical mixer and heating jacket for 5–6 hours with mixing results in oligoesterurethanediiisocyanate (urethane forpolymer with functional isocyanate groups) with content of free isocyanate groups 4–4.7–4.8%. At the second stage obtained product interacts, while mixing, with glycidol taken twice more respect to stoichiometry in the mentioned reactor under 80°C for 5–6 hours. The final product oligomer CKY-1400-3A is a dense viscous transparent liquid and its content of free epoxy groups is 4.2–4.85%.

At the first stage, achievement of constant content of isocyanate groups in synthesis is controlled by reversed titration method according to the regulations TU-113-03413-89 (TY-113-03413-89), and at the second stage content of free epoxy groups is determined by reversed titration method according to GOST 12497-78 (ГОСТ 12497-78).

Preparation of epoxy composition is conducted in the mentioned reactor gradually loading and continual mixing of components: 100 pts.wt. of epoxy diene resin ЭД-20 (GOST 10587-90), 4 pts.wt. of plasticizer, oligomer CKY-1400-3A. In the mixture of components, loaded into re-

actor, 0.6 pts.wt. of nanomaterial is added, after that the mixture is dispersed by ultrasonic impact with the plant Bandelin Sonopuls HD-3200 (ISO 9001/12.2000) for 2 min under frequency 22 kHz.

A method to obtain composite sorbent to educe heavy metal ions from aquaeius solutions (RU 2750034 C1)

The invention refers to chemical industry, in particular, to the methods of obtaining composite sorbents, containing chitosan, used to educe heavy metal ions by sorption from various solutions formed as a result of different technological processes and can be applied in improving membrane and sorption technologies, in water treatment, in development of technologies aimed at utilization of heavy metal ions from aqueous solutions and waste water of different nature [12].

The technical result of the invention is reduced time of chitosan expanding in 1% solution of acetic acid and increased sorption capacity of sorbent respect to heavy metal ions. The result is achieved due to the following stages: mixing of chitosan solution in 1% acetic acid with disperse of reinforcing material in distilled water, intensive mixing and gradual adding epichlorhydrin as a crosslinking agent. Crosslinking agent is mixed until its total inclusion into reaction mixture. Then prepared mixture is drop-by-drop introduced into aqueous solution of sodium tripolyphosphate with concentration 0.05 M under mixing. Emerged microspheres are cured under microwave radiation which power is 300 Wt and frequency is 2.45 GHz, temperature 25–40°C for 15–25 min and then they are separated from dispersed medium and thoroughly washed in distilled water from unconverted sodium tripolyphosphate. Carbon nanotubes “Taunit-M” are used as reinforcing dispersed material, and gelatin water is additionally introduced into chitosan solution, mass ratio “gelatin : chitosan” is 1:5 – 1:3 and mass ratio between reinforcing dispersed material and mixture of chitosan and gelatin is 1:10 – 1:2. Mixing of chitosan solution in 1% acetic acid is carried out for 20–30 min with further ultrasonic treatment which lasts for 10–20 min and expansion in rest without mixing runs for 30–40 min.

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

- Wear-resistant and yellowing-resistant decorative material and preparation method thereof [13].
- The composition of paint or coating, which allows to suppress microbial corrosion in metal surfaces [14].
- Graphene modified with nitrogen atoms and a method to produce it [15].
- A method to grow wire-type silica crystals [16].
- Raw mixture to obtain coarse semi-finished product of superhard composite material [17].

- A method to obtain multilayer wear-resistant diamond like coatings [18].
- A technical solution for water purification based on the use of a contact filter containing bioactive carbon particles. Allows more careful removal of pollutants, can efficiently process contaminated surface water, suitable for use in all industries in Vietnam [19].
- A method to form nanostructured composite materials [20].
- A method to obtain sintered products of uniaxially pressed electroerosion nanodispersed powders of lead bronze [21].
- Electrochemical method to obtain nanowhiskers of copper oxide [22].
- Heat-insulating material based on air gel with the possibility of introducing nanomaterials into the final product [23].
- The stage of chemical modification of graphene – functionalization, and its use – is described [24].
- A transparent glass-ceramics protecting from near-infrared radiation [25].
- A method to obtain nanoparticles of copper oxide (II) [26].
- Metal pigments with anticorrosion coatings on the basis of aluminum and/or its alloys [27].
- A method to produce dry construction mixtures [28].
- A method to obtain composite metal-dispersed coating [29].
- The utility model. A new eco-friendly wallboard is made of bamboo wood flour, characterized in that the body of the wall shield is made on the basis of polymer nanotechnology. It has the property of fire resistance, water resistance, protection against moths and corrosion, have a thermal insulation effect, improve the performance and comfort level of buildings [30].
- A method to obtain nanostructured material for anodes of metal-ion batteries [31].

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.

REFERENCES

1. Potapov V.V., Polonina E.N., Leonovich S.N., Zhdanok S.A. A method to modify concrete with complex additive which includes hydrothermal nanoparticles SiO_2 and multi-layer carbon nanotubes. RF Patent 2750497. 2021-06-28.
2. Polushin N.I., Maslov A.L., Laptev A.I. A method to obtain polycrystalline diamond films. RF Patent 2750234. 2021-06-24.
3. Sivanathan, A., Dou, Q., Wang, Y., Li, Y., Corker, J., Zhou, Y., & Fan, M. (2020). Phase change materials for building construction: An overview of nano-/micro-encapsulation. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 896-921. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ntrev-2020-0067/html>
4. Blauer E.D., Hall R. Solar collector of transpiration type. RF Patent 2749242. 2021-06-07.
5. Ovchinnikov O.V., Smirnov M.S., Perepelitsa A.S. et al. A method to obtain composition for antimicrobial coating on the basis of silver sulphide associates with molecules of methylene blue. RF Patent 2750232. 2021-06-24.
6. Moldosanov K.A., Lelevkin V.M Broadband electromagnetic absorbing coating. RF Patent 2750215. 2021-06-24.
7. Spulber M., Tshaskus K. Self-organizing nanostructures and separation membrane including aquaporin water channels and the methods to produce and use them. RF Patent 2749848. 2021-06-17.
8. Glushko V.N., Sadovskaya N.Yu., Blokhina L.I., Malozovskaya M.S. A method to obtain alumina ceramic material, modified with silver nanoparticles. RF Patent 2749340. 2021-06-08.
9. Smovzh D.V., Sakhapov S.Z., Yurchenkova A.A. et al. A method of synthesis of nanocomposite Mn–O–C. RF Patent 2749814. 2021-06-17.
10. Sivkov A.A., Vympina Yu.N., Nikitin D.S. et al. A method to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure. RF Patent 2749736. 2021-06-16.

11. Strelnikov V.N., Senichev B.Yu., Slobodinyuk A.I. et al. Epoxy composition of cold hardening. RF Patent 2749379. 2021-06-09.
12. Nikiforova T.E., Kozlov V.A. A method to obtain composite sorbent to educe heavy metal ions from aquaeius solutions. RF Patent 2750034. 2021-06-21.
13. Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 79–89. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89).
14. González P., Ivon C., Raúl F., Ricardo H., Del Campo V. Nanostructured paint for reducing microbial corrosion. EP309423237 European Patent Office (EPO). Publication number: 3725740. Available from: https://patent-scope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP309423237&_cid=P10-KQZD4R-33894-1
15. Chesnokov V.V., Parmon V.N., Chichkan A.S. Graphene modified with nitrogen atoms and a method to produce it. RF Patent 2750709. 2021-07-01.
16. Svaikat N. A method to grow wire-type silica crystals. RF Patent 2750732. 2021-07-01.
17. Malchukov V.V., Metsker E.A., Andrianov M.A. Raw mixture to obtain coarse semi-finished product of superhard composite material, coarse semi-finished product of superhard composite material and a method to obtain it. RF Patent 2750448. 2021-06-28.
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: [doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31).
19. Truong C. N. Bio-contact filtration tanks, water treatment systems and methods for treating contaminated water sources. VN1/070771. 2020. Available from: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=VN308555523>
20. Klinov D.V. A method to form nanostructured composite materials. RF Patent 2749020. 2021-06-03.
21. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pereverzev A.S. A method to obtain sintered products of uniaxially pressed electroerosion nanodispersed powders of lead bronze. RF Patent 2748659. 2021-05-28.
22. Vakarin S.V., Semerikova O.L., Kosov A.V. et al Electrochemical method to obtain nanowhiskers of copper oxide. RF Patent 2747920. 2021.
23. Ivanov L.A., Ishkov A.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part IV. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(5): 275–284. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284).
24. Nguyen K., Nguyen P. Chemically Functionalized Graphene and its Applications. US Patent & TradeMark Office. US284281968. United States. Publication Number 20200056081. 2020. Available from: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US284281968>
25. Deineka M.D., Col D., Patil M.D. A transparent glass-ceramics protecting from near-infrared radiation. RF Patent 2747856. 2021-05-17.
26. Zelenov V.I., Andriichenko E.O., Bovyka V.E. A method to obtain nanoparticles of copper oxide (II). RF Patent 2747435. 2021-05-05
27. Garshev A.V., Putlyaev V.I., Evdokimov P.V. et al. Metal pigments with anticorrosion coatings on the basis of aluminum and/or its alloys. RF Patent 2746989. 2021-04-23.
28. 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: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338).
29. Esaulov S.K., Esaulova Ts.V. A method to obtain composite metal-dispersed coating, dispersed system to precipitate composite metal-dispersed coating and a method to produce it. RF Patent 2746863. 2021-04-21.
30. Qiuyu C. Novel ecological wallboard of bamboo wood flour CN212926688U. Worldwide applications. 2020. Available from: <https://patents.google.com/patent/CN212926688U/en?q=nanotechnology+%26after=priority:20200101&status=GRANT&page=4>
31. Stolyarova S.G., Okotrub A.V., Bulusheva L.G. A method to obtain nanostructured material for anodes of metal-ion batteries. RF Patent 2751131. 2021-07-08

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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9513-8712>, e-mail: L.a.ivanov@mail.ru

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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3263-5217>, e-mail: LXu@odu.edu

Zhanna V. Pisarenko, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Saint-Petersburg State University, Economic Faculty, Department of Risk Management and Insurance, Saint-Petersburg, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>, e-mail: z.pisarenko@spbu.ru

Cahn T. Nguyen, Dr. of Economics, Professor, Leading Researcher at the Institute of European Studies, Vietnam Academy of Social Sciences, Hanoi, Vietnam, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8709-2283>, e-mail: okabc007@gmail.com

Svetlana R. Muminova, Cand. Sci. (Eng.), Chief for foreign relations, Center for New Technologies "Nanostroitel'stvo", Korolev, Moscow region, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5236-607X>, e-mail: it.rguts@mail.ru

All authors declare the absence of any competing interests.

Received: 28.06.2021.

Revised: 02.08.2021.

Accepted: 05.08.2021.



Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть IV

Л.А. Иванов^{1*}, Л.Д. Сюй², Ж.В. Писаренко³, К.Т. Нгуен⁴, С.Р. Муминова⁵

¹ Российская инженерная академия, г. Москва, Россия

² Университет Олд Доминион, г. Норфолк, Вирджиния, США

³ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт Европейских исследований Вьетнамской академии общественных наук, г. Ханой, Вьетнам

⁵ Центр Новых Технологий «НаноСтроительство», г. Королев, Московская область, Россия

*Контакты: 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 проводится в реферативной форме обзор изобретений ученых, инженеров и специалистов из разных стран: России, США, Китая, Белоруссии, Великобритании, Вьетнама, Дании, Кыргызской Республики. 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, изобретение «Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы SiO_2 и многослойные углеродные нанотрубки» относится к способам модифицирования бетона вводом комбинации наночастиц с высокой удельной поверхностью в бетонную смесь и может найти применение при изготовлении сборных и монолитных изделий и конструкций зданий и сооружений различного назначения. Наномодифицирование бетона заявленным способом позволяет достичь повышения механических характеристик бетона: прочности при сжатии (25–77% в возрасте 28 сут) и прочности при изгибе, прочности при осевом растяжении, модулей Юнга и сдвига, плотности (до 10%), ускорения твердения в раннем возрасте и скорости набора прочности, снижения водопоглощения и улучшения показателей поровой структуры – показателя размеров пор и показателя однородности дифференциального размера пор, снижения общей капиллярной пористости, повышения морозостойкости. Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: способ получения поликристаллических алмазных пленок; материалы с фазовым переходом для строительства; обзор нано- и микрокапсулирования, солнечный коллектор транспирационного типа; способ получения состава для антимикробного покрытия на основе ассоциатов нанокристаллов сульфида серебра с молекулами метиленового голубого; широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие; способ производства сухих строительных смесей; самоорганизующиеся наноструктуры и разделительные мембраны, включающие аквапориновые водные каналы, и способы их получения и применения; способ получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаз 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, наномодифицирование бетона, наноалмазные порошки, самоорганизующиеся наноструктуры, наночастицы серебра, нанокompозит.

БЛАГОДАРНОСТИ: Данная работа выполнена в рамках проекта РФФИ 21-510-92001 «Расширение доступа России и Вьетнама на мировые рынки в контексте влияния рисков экосистемных финансовых конгломератов и перехода национальных экономик к Индустрии 4.0»

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-242-251.

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

Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы SiO_2 и многослойные углеродные нанотрубки (RU 2750497 C1)

Изобретение относится к способам модифицирования бетона вводом комбинации наночастиц с высокой удельной поверхностью в бетонную смесь и может найти применение при изготовлении сборных и монолитных изделий и конструкций зданий и сооружений различного назначения [1].

Сырьевая смесь для изготовления сборных и монолитных изделий и конструкций содержит портландцемент, песок, щебень, комплексную добавку и воду, причем в качестве комплексной добавки содержит поликарбоксилатный суперпластификатор, многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) и гидротермальный нанокремнезем при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент 14–16; песок 38–40; щебень 41–43; комплексная добавка (относительно цемента) 0,8; суперпластификатор 0,32–0,4; МУНТ 0,00004–0,05; гидротермальные наночастицы SiO_2 0,000003–0,01; вода (В/Ц = 0,15–0,5) – остальное.

Задача изобретения – улучшение характеристик портландцементных бетонов и структуры геля гидросиликатов кальция применением комплексной добавки, содержащей гидротермальные наночастицы SiO_2 и наночастицы углерода. Наномодифицирование бетона заявленным способом позволяет достичь повышения механических характеристик бетона: прочности при сжатии (25–77% в возрасте 28 сут) и прочности при изгибе, прочности при осевом растяжении, модулей Юнга и сдвига, плотности (до 10%), ускорения твердения в раннем возрасте и скорости набора прочности, снижения водопоглощения и улучшения показателей поровой структуры – показателя размеров пор и показателя однородности дифференциального размера пор, снижения общей капиллярной пористости, повышения морозостойкости. Предложенный способ позволяет улучшить структуру геля гидросиликатов кальция CSH в цементных композиционных материалах за счет высокой удельной площади поверх-

ности и удельной поверхностной энергии наночастиц SiO_2 и наночастиц углерода. Поверхность наночастиц выполняет роль дополнительных центров кристаллизации частиц гидросиликатов кальция и поликонденсации кремнекислородных тетраэдров, способствуя увеличению скорости гидратации алита и образования CSH геля, уменьшению средних размеров и повышению объемной плотности упаковки частиц и механических характеристик в фазах CSH геля, повышению структурной упорядоченности в фазах CSH геля и в частицах гидросиликатов кальция.

Способ получения поликристаллических алмазных пленок (RU 2750234 C1)

Изобретение относится к области получения поликристаллических алмазных пленок, которые используются для изготовления теплопроводов, детекторов ионизирующего излучения, инфракрасных окон, упрочняющих и износостойких покрытий на деталях и режущих инструментах.

Поликристаллические алмазные пленки состоят из алмазных кристаллитов, размеры которых, соотношение объемов кристаллической и аморфной фаз существенно влияют на физические свойства таких пленок. Установлено, что уменьшение размеров кристаллитов и соотношения алмазной и аморфной фаз в поликристаллических алмазных пленках позволяет существенно снизить шероховатость ростовой поверхности, что приводит к изменению электрических, оптических и эмиссионных свойств пленок. Как правило, началу роста поликристаллических алмазных пленок (алмазных покрытий) предшествует период, в течение которого на поверхности подложки формируются алмазные затравки («засев»), выполняющие роль центров зародышеобразования алмазной фазы пленки. В качестве алмазных затравок используют преимущественно наноалмазные порошки. Более высокая и равномерная плотность «засева» поверхности подложки алмазными затравками, имеющими минимальный разброс размеров, позволяет снизить размеры кристаллитов алмазных пленок, получить сплошные ультратонкие алмазные пленки с гладкими поверхностями [2].

Способ осуществляется следующим образом. Для нанесения на кремниевую подложку наноалмазного порошка предварительно готовят суспензию из наноалмазного порошка и жидкости и воздействуют на суспензию ультразвуковыми колебаниями мощностью 500–1000 Вт. После этого мощность ультразвуковых колебаний снижают до 250–350 Вт, в суспензию помещают кремниевую подложку и обрабатывают ее в течение времени, при котором происходит осаждение наноалмазных частиц, сопровождающееся их внедрением в поверхность подложки. «Засеянную»

подложку извлекают из суспензии, моют в деионизированной воде и высушивают. Поверхность подложки наблюдают в электронном микроскопе для определения качества «засева». Затем на подложку с наноалмазными порошками осаждают графеновый слой, содержащий 3–10 монослоев графена. После этого подложку с наноалмазными порошками помещают в реактор для осаждения поликристаллического алмазного слоя. Способ нанесения поликристаллических алмазных пленок не ограничивает материал подложки, это могут быть подложки из кремния, молибдена и др. материалов, но предпочтительно в качестве материала подложки берут кремний.

Жидкая среда представляет собой суспензию наноалмазных порошков в жидкости. В качестве жидкости можно использовать ацетон, изопропиловый спирт, этиловый спирт, воду. Концентрация алмазных порошков в суспензии должна обеспечивать необходимое количество алмазной фазы для получения «засева» подложки с необходимой плотностью и обеспечить эффективную дезагрегацию наноалмазных порошков в суспензии. Для «засева» подложки предпочтительно использовать наноалмазные порошки размером 4–10 нм, которые являются оптимальными для получения высокой плотности «засева» подложки и получения пленки с гладкой поверхностью.

Материалы с фазовым переходом для строительства: обзор нано- и микрокапсулирования

На долю зданий приходится до 40% энергии, потребляемой в мире, и 38% выбросов парниковых газов. За последнее десятилетие прогресс в технологиях, связанных с аккумулярованием тепловой энергии (АТЭ), и использующие материалы с фазовым переходом (МФП) привлекли большое внимание со стороны исследователей, главным образом благодаря своему потенциалу сократить энергопотребление и способствовать применению возобновляемых энергоресурсов, таких как солнечная энергия.

Материалы с фазовым переходом (МФП) — это группа функциональных материалов, назначение которых проявляется в свойствах поглощения, хранения и испускания тепловой энергии в виде скрытой теплоты, известной как энтальпия плавления во время циклов фазовых переходов при рабочих температурах в изотермичных условиях. Технология МФП — одна из наиболее перспективных технологий, доступных для разработки высококачественных и энергоэффективных зданий, вследствие чего она считается одной из самых эффективных и развивающихся научных областей. Главное ограничение МФП — утечки, которые сужают их потенциальное применение в строительстве зданий и других сферах, таких как, например, текстильная промышленность. Данный

недостаток возможно устранить за счет внедрения технологий нано- и микрокапсулирования [3].

В данной работе представлен широкий обзор технологий нано- и микрокапсулирования, которые разделены на три группы, включающие физические, физикохимические и химические методы, а также свойства полученных микрокапсул. Среди всех доступных технологий капсулирования химический метод применяется чаще всего, т.к. он предоставляет лучший технологический подход с точки зрения эффективности капсулирования и улучшенную конструктивную прочность заполняющих материалов. Существует необходимость разрабатывать метод синтеза наноканулированных МФП для достижения повышенной устойчивости конструкций и лучшей изломостойкости, а значит и более долгого срока службы. Содержащаяся в работе собранная база данных о свойствах/рабочих характеристиках МФП и синтезированных различными путями нано- и микрокапсул должна служить в качестве полезной информации для производства нано- и микрокапсул с желаемыми характеристиками для применения в строительстве и дальнейшего совершенствования технологии МФП.

Развитие и применение технологий наноканулирования станет выгодным для синтеза наноканулированных, т.к. они обладают заданными характеристиками, включая улучшенные несущую способность и эффективность капсулирования, повышенные конструктивную прочность и изломостойкость по сравнению с микрокапсулами, полученными в результате микрокапсулирования. Для продвижения устойчивости технологии капсулирования необходимо применять биополимеры, такие как целлюлозу/наноцеллюлозу в качестве облицовочного материала, т.к. подобные полимеры экологически безопасны и доступны в больших количествах.

Солнечный коллектор транспирационного типа (RU 2749242 C2)

С усовершенствованием строительных конструкций, которое сводится к улучшению воздухопроницаемости зданий, становится все более важным предусмотреть системы вентиляции для постоянного поступления свежего воздуха в здание. Если поступающий свежий воздух холоднее, чем выпускаемый теплый воздух, температура внутри здания может снизиться. Это означает, что может потребоваться отопление здания. Солнечные коллекторы транспирационного типа могут быть использованы для предварительного нагрева воздуха, поступающего в здание, что позволяет уменьшить потребность в нагреве с помощью стандартных систем отопления и обеспечить сокращение затрат. Кроме того, если внешнюю энергию получают из ископаемых энерго-

носителей или с помощью ядерных источников, это обеспечивает значительные экологические выгоды и снижает использование истощаемых ресурсов.

Изобретение относится к солнечному коллектору транспирационного типа, который содержит поглощающую панель, имеющую основу, выполненную из нержавеющей стали, поверхностный слой из оксида хрома на передней поверхности основы и множество сквозных отверстий, образованных в основе и поверхностном слое, причем поверхностный слой имеет толщину, по меньшей мере, 70 нанометров и образует наружную поверхность солнечного коллектора транспирационного типа [4]. А также заявлено здание, содержащее указанный коллектор, установленный на стене или крыше здания таким образом, что поверхностный слой образует наружную поверхность здания, и способ изготовления солнечного коллектора, согласно которому выбирают пластину из нержавеющей стали, содержащую на передней поверхности первоначальный слой оксида хрома, осуществляют химическое или электрохимическое наращивание первоначального слоя оксида хрома на передней поверхности с образованием наращенного слоя оксида хрома, формируют множество сквозных отверстий в пластине и пластину в виде поглощающей панели солнечного коллектора транспирационного типа, а наращенный слой оксида хрома образует наружную поверхность солнечного коллектора транспирационного типа, причем этап химического или электрохимического наращивания первоначального оксида хрома осуществляют до или после этапа формирования множества сквозных отверстий. Изобретение должно снизить потери тепла на излучение в атмосферу, обеспечить защиту от ультрафиолетового света для исключения выцветания и разрушения покрытия, увеличения срока службы.

На рис. показан пример солнечного коллектора транспирационного типа 100. Солнечный коллектор 100 транспирационного типа расположен на наружной стороне 102 здания и содержит поглощающую панель 108 (панель с поглощающим коллектором), установленную на стене 106 здания с помощью скоб (не показаны). В поглощающей панели 108 сформировано множество сквозных отверстий 110 (перфорационных отверстий). Поглощающая панель 108 находится на расстоянии от стены 106 с образованием полости 112 между поглощающей панелью 108 и стеной 106. Полость 112 соединена с воздухопроводом 114 системы вентиляции, выполненным с возможностью подачи свежего воздуха во внутреннее пространство 104 здания. При эксплуатации поглощающая панель 108 поглощает солнечное излучение, что обеспечивает нагрев материала поглощающей панели 108. Граничный слой, прилегающий к наружной (передней) поверхности 122 поглощающей панели 108, нагревается по-

глощающей пластиной 108 и втягивается через сквозные отверстия 110 в полость 112 и затем втягивается из полости 112 в выпускной воздухопровод 114 с помощью воздушного вентилятора 116. Протекание воздуха через поглощающую панель 108 и систему вентиляции показано стрелками на рис.

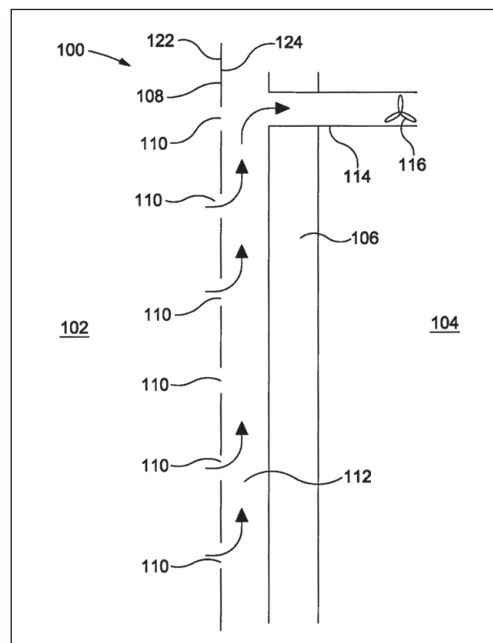


Рис. Пример солнечного коллектора транспирационного типа

Способ получения состава для антимикробного покрытия на основе ассоциатов нанокристаллов сульфида серебра с молекулами метиленового голубого (RU 2750232 C1)

Изобретение относится к области получения антимикробных составов, точнее к области получения составов, содержащих нанокристаллы сульфида серебра, для добавок в лакокрасочные материалы и их использования при дезинфекции различных поверхностей.

Общеизвестно, что ионы серебра и некоторых других металлов обладают выраженной способностью инактивировать вирусы некоторых штаммов гриппа, энтеро- и аденовирусов, оказывают значительный терапевтический эффект при лечении ряда вирусных заболеваний человека и животных, особенно при лечении коллоидным серебром, по сравнению со стандартной терапией. Поэтому перспективным подходом к созданию нового поколения антимикробных составов является использование коллоидных наночастиц металлов и полупроводниковых нанокристаллов, а также гибридных ассоциатов на их основе.

Задачей изобретения является разработка способа получения состава для антимикробного покрытия

на основе ассоциатов нанокристаллов сульфида серебра с молекулами метиленового голубого. Гидрофильность получаемого по предлагаемому способу состава позволяет использовать его для обработки поверхностей помещений, а также обеспечивает совместимость с вододисперсионными красками для получения антимикробного действия. Разработанные составы не являются летучими, не обладают запахом, не являются токсичными и остаются длительное время эффективными [5].

Технический результат изобретения достигается тем, что в способе получения состава для антимикробного покрытия на основе ассоциатов нанокристаллов сульфида серебра с молекулами метиленового голубого, включающем синтез нанокристаллов Ag_2S посредством сливания раствора тиогликолевой кислоты и нитрата серебра при температуре 30°C и при постоянном перемешивании, с последующим покапельным титрованием водным раствором NaOH , а затем добавлением водного раствора сульфида натрия, с дельнейшим перемешиванием, добавлением к раствору в объемном соотношении 1:1 ацетона, центрифугированием, последующим декантированием жидкости, добавлением к осадку растворителя, а также раствора метиленового голубого в 96%-ном этаноле, согласно изобретению, синтез ведут путем добавления к 0,027–0,03 М водному раствору тиогликолевой кислоты 0,0135–0,0154 М водного раствора нитрата серебра при постоянном перемешивании со скоростью 300–600 об/мин при обеспечении молярного соотношения 2:1 соответственно, покапельное титрование ведут 0,1 М водным раствором NaOH до $\text{pH} = 9$, а затем добавляют 0,02–0,023 М водного раствора сульфида натрия с температурой от 15 до 25°C при объемном соотношении раствор тиогликолевой кислоты: раствор нитрата серебра: раствор сульфида натрия – 2:2:1 соответственно, с дельнейшим перемешиванием по меньшей мере в течение 20 минут, осаждают, а также отделяют от водорастворимых продуктов реакции путем центрифугирования со скоростью 5000 об/мин в течение 30 минут, к получившемуся осадку добавляют 50% водно-этанольный раствор, взятый в объеме, равном сумме объемов смешиваемых растворов нитрата серебра, тиогликолевой кислоты и сульфида натрия, использованных для синтеза, приливают раствор метиленового голубого в 96%-ном этаноле.

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие (RU 2750215 C1)

Изобретение относится к электромагнитным поглощающим покрытиям, предназначенным для поглощения электромагнитного излучения в объектах наземной, авиационной, космической и морской техники для снижения их радиолокационной заметности,

а также для поглощения электромагнитного излучения в экранирующих устройствах, в поглощающих облицовках и корпусах, в безэховых измерительных камерах и в средствах защиты населения от неионизирующих излучений [6]. Известные электромагнитные поглощающие покрытия основаны на способности поглощения падающего излучения мелкодисперсными составляющими: кластерами ферромагнитных частиц, ферритов и гидрогенизированного углерода.

Задачей заявляемого изобретения является расширение полосы частот поглощения покрытия, а именно повышение максимальной частоты поглощения до ≈ 700 ГГц и снижение минимальной частоты поглощения до ≈ 10 МГц.

Поставленная задача решается за счет того, что в поглощающей пленке применяют наночастицы медно-никелевого сплава состава 25–50 мас. % Cu , остальное – Ni . При этом повышение максимальной частоты полосы поглощения до ≈ 700 ГГц обеспечивается выбором размера наночастиц, равным или меньше толщины скин-слоя на максимальной поглощаемой частоте (≈ 400 нм на частоте 700 ГГц), что обеспечивает широкую полосу частот поглощения электромагнитного излучения потому, что излучение всех частот, равных и меньших максимальной, проникает в объем наночастицы и поглощается в ней, взаимодействуя со всеми фермиевскими электронами наночастицы. Это следствие того, что толщина скин-слоя на частотах, меньших максимальной, больше толщины скин-слоя на максимальной частоте. А снижение минимальной частоты полосы поглощения до ≈ 10 МГц обеспечивается благодаря реализации в наночастицах схемы поглощения фотона электромагнитного излучения с участием доминирующего продольного фонона, то есть фонона из области полной ширины на половине максимума (ПШПМ) распределения продольных фононов по частоте. В этой схеме фермиевский электрон возбуждается, поглощая одновременно фотон излучения и доминирующий продольный фонон, а релаксирует, возбуждая вторичный продольный фонон из области ПШПМ. Благодаря тому, что в схеме поглощения участвуют доминирующие фононы, интенсивность поглощения электромагнитного излучения повышена. При этом участие доминирующих фононов обеспечено благодаря тому, что длина волны продольных фононов из области ПШПМ ($\sim 0,5$ нм) намного меньше размера наночастицы (≤ 400 нм).

Самоорганизующиеся наноструктуры и разделительные мембраны, включающие аквапориновые водные каналы, и способы их получения и применения (RU 2749848 C2)

Настоящее изобретение относится к самоорганизующимся наноструктурам, образованным

трансмембранными белками, такими как аквапориновые водные каналы (AQP – от англ. aquaporin water channel) и полиалкиленимины (PAI – от англ. polyalkyleneimine), и к фильтрационным мембранам, включающим данные наноструктуры [7]. Настоящее изобретение дополнительно относится к способам получения наноструктур и разделительных мембран, таких как полые волокна и половолоконные модули, и к их применениям.

В целом, настоящее изобретение относится к применению полиалкилениминов (PAI), таких как полиэтиленимин (PEI), для образования самоорганизующихся наноструктур с трансмембранными белками или определенными типами интегральных мембранных белков (белки, образующие поры), такими как аквапориновые водные каналы. Наноструктуры PAI-белок затем можно использовать в получении разделительных мембран, в которых трансмембранные белки иммобилизованы и активны, например, для обеспечения прохождения молекул воды через мембрану. Например, для получения разделительных мембран, включающих трансмембранные белки, самоорганизующиеся наноструктуры могут быть суспендированы в водной жидкой композиции, которая может быть включена в реакцию межфазной полимеризации на полупроницаемой подложке с образованием тонкопленочного композитного активного слоя мембраны, или самоорганизующиеся наноструктуры могут быть включены в фильтрационную мембрану, образованную посредством послойной методики, или в другие типы фильтрационных мембран, имеющих активный селективный слой. Не желая быть связанными какой-либо определенной теорией, считается, что самоорганизующиеся наноструктуры образуются за счет электростатического взаимодействия между положительно заряженными атомами азота, находящимися в молекулах полиалкиленимина, и аминокислотными остатками в трансмембранном белке, которые отрицательно заряжены в условиях (pH, pK и т.д.), используемых для образования наноструктур и/или мембран, содержащих данные наноструктуры.

Таким образом, согласно настоящему изобретению предложены разделительные мембраны, такие как фильтрационные мембраны или TFC мембраны, имеющие AQP, включенные в активный слой, для облегчения транспорта воды, где AQP иммобилизованы в самоорганизующиеся PAI наноструктуры, такие как самоорганизующиеся PEI наноструктуры. Согласно настоящему изобретению дополнительно предложены жидкие композиции, содержащие наноструктуры на основе PAI-белка, которые могут быть включены в активный слой различных разделительных мембран (включая фильтрационные мембраны), таких как на-

нофильтрационные мембраны, мембраны прямого осмоса и мембраны обратного осмоса.

Способ получения алюмооксидного керамического материала, модифицированного наночастицами серебра (RU 2749340 C1)

Изобретение относится к технологии получения керамики, содержащей наночастицы серебра, которая может применяться в качестве фильтров для обезвреживания воды от болезнетворных бактерий [8]. Известно, бактерицидными свойствами обладают различные материалы, модифицированные серебром, например, композиты, керамика, сталь, фарфор, фаянс. В частности, известно, что бактерицидными свойствами обладают композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), модифицированные серебром. Особое предпочтение в последние годы уделяется использованию именно наноструктурированного серебра.

Для создания экономичного и промышленно осуществимого процесса получения эффективной керамики, которая может быть применена в качестве фильтров для обезвреживания воды от болезнетворных бактерий, предлагается способ получения алюмооксидного керамического материала, модифицированного наночастицами серебра, осуществляемый в два этапа: первоначальной предварительной обработкой исходного алюминийоксидного керамического материала, имеющего 20–40%-ную пористость, и последующей стадией его импрегнирования, при этом стадия обработки исходного керамического материала включает следующие последовательные стадии – обработку исходного керамического материала ультразвуком, предпочтительно величиной 30 кГц, в течение 15–30 мин, промывку его дистиллированной водой и погружение в концентрированную азотную кислоту на 2–4 часа, затем повторную промывку дистиллированной водой и сушку при температуре 140–160°C, а стадия импрегнирования обработанного керамического материала наносеребром проводится путем погружения обработанного керамического материала в раствор, содержащий 0,004 моля метансульфоната серебра или трифторацетата серебра в 100 мл этиленгликоля, выдерживания его при встряхивании или перемешивании до равномерного распределения раствора по поверхности материала, с последующим добавлением к нему раствора, содержащего 0,002 моля аскорбиновой кислоты в 100 мл этиленгликоля и с последующим выдерживанием импрегнированного материала при встряхивании или перемешивании при комнатной температуре в течение 1–2 часов, промывкой извлеченного керамического материала дистиллированной водой и сушкой его при 70–90°C.

Способ синтеза нанокompозита $Mn-O-C$ (RU 2749814 C1)

Изобретение относится к области нанотехнологий — к плазменно-дуговой технологии синтеза нанокompозитных частиц оксида марганца с углеродным покрытием [9]. Изобретение может быть использовано в качестве материала для электродов суперконденсаторов (СК). Суперконденсаторы являются одним из наиболее перспективных источников энергии, т.к. суперконденсаторы одновременно имеют высокую мощность и высокую энергоемкость, чем отличаются от традиционных аккумуляторных батарей и конденсаторов. Высокая энергоемкость суперконденсаторов достигается за счет материала электродов. В качестве электродных материалов СК используют материалы, которые сочетают в себе высокую удельную емкость и длительный срок службы, углеродные наноматериалы, оксиды переходных металлов и проводящие полимеры, Max-phase и MAXene.

Наиболее перспективным оксидом переходного металла для электродов суперконденсаторов считается оксид марганца ($MnOx$) из-за его высокой удельной емкости (1370 Ф/г), низкой стоимости, распространенности и экологической безопасности. Однако оксиды марганца $MnOx$ имеют низкую стабильность при длительных циклах, что связано, прежде всего, с механизмом накопления заряда $MnOx$ и легирования ионами электролита. Когда марганец переходит из одного состояния окисления в другое, система становится некомпенсированной, что приводит к легированию/депонированию дополнительными ионами из раствора электролита. В ходе этого процесса происходит увеличение/уменьшение межслойного расстояния, что в конечном итоге приводит к быстрому разрушению кристаллической структуры и разрушению материала. Таким образом, оксиды $MnOx$ стабильны только в течение 1000–3000 циклов. Хорошим способом повышения стабильности $MnOx$ является создание композитов с аморфным углеродом или углеродными наноструктурами. В таких композитах углерод действует как матрица, которая удерживает и стабилизирует частицы $MnOx$ во время легирования ионами электролита, а металлы или их соединения — как активные компоненты. Кроме того, углерод предназначен для увеличения электропроводности материала, чтобы уменьшить потери на границе раздела активный материал / токосъемник.

Задачей настоящего изобретения является создание простого и экономичного способа синтеза нанокompозита $Mn-O-C$ с контролируемым составом наночастиц $MnOx$ и степенью графитизации углеродной матрицы, с высокой циклической устойчивостью и высокой электрохимической емкостью для использования в качестве материала электродов

суперконденсаторов. Поставленная задача решается путем сочетания известных способов, а именно плазменно-дугового синтеза композитного металл-углеродного материала и отжига синтезированного материала в кислородсодержащей среде при атмосферном давлении. При этом получают материал с улучшенными характеристиками, имеющий высокую циклическую устойчивость при достаточно высокой электрохимической емкости, пригодный для использования в качестве материала электродов суперконденсаторов.

Способ получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаз (RU 2749736 C1)

Изобретение относится к области материаловедения и нанотехнологий, а именно к получению диоксида титана, который может быть использован в водородной энергетике и технологиях очистки воды. Техническим результатом предложенного изобретения является создание способа получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаз, в составе продукта с низким содержанием примесных фаз [10].

Предложенный способ получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаз включает генерирование титановой электроразрядной плазмы в камеру, предварительно вакуумированную и наполненную кислородсодержащей смесью газов при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре, с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя с титановым стволом и с составным центральным электродом из наконечника из титана и хвостовика из стали, с электрически плавкой перемычкой, размещенной между титановым стволом и наконечником, при емкости конденсаторной батареи 14,4 мФ.

Согласно изобретению, генерируют электроразрядную титановую плазму с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя с электрически плавкой перемычкой из вазелина массой от 0,10 до 0,25 г, производя распыление плазмы в первую камеру, заполненную газовой смесью аргона и кислорода в соотношении парциальных давлений $Ar:O_2$ 1:4 при зарядном напряжении 2,8 кВ конденсаторной батареи, перемещают нанокристаллическую составляющую синтезированного продукта во вторую, предварительно вакуумированную камеру, открывая перепускной клапан между камерами через 10 секунд после генерации электроразрядной плазмы, после чего собирают с внутренних стенок второй камеры полученный диоксид титана со структурой анатаз.

При разрядке емкостного накопителя энергии между титановым наконечником центрального электрода и титановым стволом ускорителя происходит

иницирование дугового разряда, вследствие чего электрически плавкая перемычка из вазелина переходит в плазменное состояние. В процессе горения дугового разряда происходит электроэрозионная наработка титаносодержащего прекурсора с внутренней поверхности цилиндрического электропроводящего титанового ствола. Плазменный поток ускоряется до гиперзвуковых скоростей, и эродированный титан участвует в плазмохимической реакции с кислородом первой камеры, что обеспечивает образование нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаз. Отделение синтезированного нанокристаллического анатаза от крупнодисперсного рутила обеспечивается путем открытия перепускного клапана и сбором продукта из второй камеры. Преимуществом такого способа является использование водородсодержащей электрически плавкой перемычки, поскольку вазелин, помимо минерального масла, содержит твердые парафиновые углеводороды. Перемычка из вазелина разогревается, плавится, и содержащийся в ее составе водород выделяется и способствует увеличению скорости течения плазменной струи. Предложенный способ позволил получить продукты с содержанием нанокристаллического анатаза от 83,2 до 85,7 мас. % со средним размером частиц до 100 нм.

Эпоксидная композиция холодного отверждения (RU 2749379 C2)

Изобретение относится к области создания эпоксидных композиций холодного отверждения в качестве основы клеев, герметиков и компаундов для герметизации и ремонта изделий из различных материалов и обладающих повышенными прочностными и деформационными свойствами при эксплуатации в широком интервале температур эксплуатации, в том числе в условиях Арктики и Крайнего Севера. Улучшение деформационно-прочностных свойств эпоксидных композиций, отверждаемых при комнатной температуре, является актуальной задачей.

Сущность изобретения поясняется примером [11]. Эпоксипуретановый олигомер SKU-1400-3A синтезируется двухстадийным способом: на первой стадии проводится реакция олиготетраметиленоксиддиола с молекулярной массой 1400 (торговая марка полифурит 1400) и 2,4-толуилendiизоцианата, взятого в двойном избытке по отношению к стехиометрии. В результате реакции, проходящей при 80°C в условно герметичном реакторе, снабженном механической мешалкой и рубашкой для обогрева, в течение 5–6 часов при перемешивании получается олигоэфируретандиизоцианат (уретановый форполимер с функциональными изоцианатными группами) с содержанием свободных изоцианатных групп 4–4,7–4,8%. На второй стадии полученный продукт взаимодействует в ука-

занном выше реакторе при 80°C в течение 5–6 час при перемешивании с глицидолом, взятым в двойном избытке по отношению к стехиометрии. Конечный продукт олигомер SKU-1400-3A представляет собой густую вязкую прозрачную жидкость и имеет содержание свободных эпоксидных групп 4,2–4,85%.

При синтезе контроль достижения постоянного содержания изоцианатных групп на первой стадии проводится методом обратного титрования в соответствии с ТУ-113-03413-89, а содержание свободных эпоксидных групп на второй стадии определяется методом обратного титрования согласно ГОСТ 12497-78.

Приготовление эпоксидной композиции проводится в указанном выше реакторе при последовательном загрузении и постоянном перемешивании компонентов: 100 мас.ч. эпоксидной диановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-90), 4 мас.ч. пластификатора, олигомера SKU-1400-3A. В смесь введенных в реактор компонентов всыпают 0,6 мас.ч. наноматериала, после чего смесь диспергируют путем ультразвукового воздействия с помощью установки Bandelin Sonopuls HD-3200 (ISO 9001/12.2000) в течение 2 мин при частоте 22 кГц.

Способ получения композиционного сорбента для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов (RU 2750034 C1)

Изобретение относится к химической промышленности, а именно к способам получения композиционных сорбентов, содержащих хитозан, предназначенных для извлечения ионов тяжелых металлов сорбцией из растворов различного состава, образующихся в результате проведения разнообразных технологических процессов, и может быть использовано для совершенствования мембранных и сорбционных технологий, в водоподготовке, при разработке технологий утилизации ионов тяжелых металлов из водных растворов и сточных вод различной природы [12].

Техническим результатом изобретения является сокращение времени набухания хитозана в 1% растворе уксусной кислоты и повышение сорбционной емкости сорбента по отношению к ионам тяжелых металлов. Указанный результат достигается тем, что в способе получения композиционного сорбента для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов, заключающемся в смешении раствора хитозана в 1% уксусной кислоте с дисперсией армирующего материала в дистиллированной воде, интенсивном перемешивании и постепенном добавлении эпихлоргидрина в качестве сшивающего агента и перемешивании до его полного включения в реакционную смесь, последующем капельном введении приготовленной смеси в водный раствор триполифосфата натрия с концентрацией 0,05 М при перемешивании,

выдерживании в нем образовавшихся микросфер, при микроволновом облучении мощностью 300 Вт с частотой 2,45 ГГц и температуре 25–40°C в течение 15–25 мин с последующим их отделением от дисперсионной среды и тщательной промывкой дистиллированной водой от непрореагировавшего триполифосфата натрия, согласно изобретению, в качестве армирующего дисперсного материала используют углеродные нанотрубки «Таунит-М», а в раствор хитозана дополнительно вводят раствор желатина при массовом отношении желатин : хитозан 1:5 – 1:3, при этом массовое отношение армирующего дисперсного материала и смеси хитозана с желатином составляет 1:10 – 1:2, а перемешивание раствора хитозана в 1% уксусной кислоте производят в течение 20–30 мин с последующей обработкой ультразвуком в течение 10–20 мин и набуханием в покое без перемешивания в течение 30–40 мин.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Износостойкий и стойкий отделочный материал и способ его получения [13].
- Разработан состав краски или покрытия, который позволяет подавлять микробную коррозию в металлических поверхностях [14].
- Графен, модифицированный атомами азота, и способ его приготовления [15].
- Способ выращивания нитевидных кристаллов кремния [16].
- Сырьевая смесь для изготовления крупноразмерной заготовки сверхтвердого композитного материала [17].
- Способ получения многослойных износостойких алмазоподобных покрытий [18].
- Техническое решение по очистке воды на основе применения контактного фильтра, содержащего частицы биоактивного углерода. Позволяет более тщательно удалять загрязняющие вещества, может эффективно обрабатывать загрязненные поверхностные воды, для применения во всех отраслях промышленности во Вьетнаме [19].
- Способ формирования наноструктурированных композитных материалов [20].

- Способ получения спеченных изделий из одно-односпрессованных электроэрозионных нанодисперсных порошков свинцовой бронзы [21].
- Электрохимический способ получения нановишкерок оксида меди [22].
- Теплоизоляционный материал на основе аэрогеля с возможностью введения в состав конечного продукта наноматериалов [23].
- Описана стадия химического модифицирования графена – функционализация – и его применение [24].
- Защищающая от излучения ближнего инфракрасного диапазона прозрачная стеклокерамика [25].
- Способ получения наночастиц оксида меди (II) [26].
- Металлические пигменты с антикоррозийными покрытиями на основе алюминия и/или его сплавов [27].
- Способ производства сухих строительных смесей [28].
- Способ получения композиционного металл-дисперсного покрытия [29].
- Полезная модель. Новая экологичная стеновая доска из бамбуковой древесной муки, отличающаяся тем, что корпус стенового щита изготовлен на основе полимерной нанотехнологии. Обладает свойством огнестойкости, водонепроницаемости, защиты от моли и коррозии, обладает теплоизоляционным эффектом, улучшает эксплуатационные характеристики и уровень комфорта зданий [30].
- Способ получения наноструктурированного материала для анодов металл-ионных аккумуляторов [31].

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. Поэтому надеемся, что публикуемая в данной рубрике информация будет востребованной и полезной для специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов В.В., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Жданок С.А. Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы SiO₂ и многослойные углеродные нанотрубки // Патент 2750497 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.
2. Полушин Н.И., Маслов А.Л., Лаптев А.И. Способ получения поликристаллических алмазных пленок // Патент 2750234 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 18.
3. Сиванатхан А., Доу Ц., Ван Ю., Ли Ю., Коркер Дж., Джоу Ю., Фэн М. (2020). Материалы с фазовым переходом для строительства: обзор наномикрокапсулирования // Nanotechnology Reviews. – 9(1). – 896–921. – <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ntrev-2020-0067/html>.
4. Блауэр Э.Д., Холл Р. Солнечный коллектор транспирационного типа // Патент 2749242 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 16.

5. Овчинников О.В., Смирнов М.С., Перепелица А.С. и др. Способ получения состава для антимикробного покрытия на основе ассоциатов нанокристаллов сульфида серебра с молекулами метиленового голубого // Патент 2750232 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 18.
6. Молдосанов К.А., Лелевкин В.М. Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие // Патент 2750215 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 18.
7. Спуйлбер М., Тшаскус К. Самоорганизующиеся наноструктуры и разделительные мембраны, включающие аквапориновые водные каналы, и способы их получения и применения // Патент 2749848 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 17.
8. Глушко В.Н., Садовская Н.Ю., Блохина Л.И., Малозовская М.С. Способ получения алюмооксидного керамического материала, модифицированного наночастицами серебра // Патент 2749340 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 16.
9. Смовж Д.В., Сахапов С.З., Юрченкова А.А. и др. Способ синтеза нанокompозита Мп-О-С // Патент 2749814 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 17.
10. Сивков А.А., Вымпина Ю.Н., Никитин Д.С. и др. Способ получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаза // Патент 2749736 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 17.
11. Стрельников В.Н., Сеничев В.Ю., Слободянюк А.И. и др. Эпоксидная композиция холодного отверждения // Патент 2749379 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 16.
12. Никифорова Т.Е., Козлов В.А. Способ получения композиционного сорбента для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов // Патент 2750034 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 18.
13. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. — 2021. — Том 13, № 2. — С. 79–89. — DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89.
14. González P., Iyon C., Raúl F., Ricardo H., Del Campo V. Наноструктурированная краска для уменьшения микробной коррозии. EP309423237. Европейское патентное ведомство (ЕПВ) Номер публикации 3725740. Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP309423237&cid=P10-KQZD4R-33894-1>
15. Чесноков В.В., Пармон В.Н., Чичкань А.С. Графен, модифицированный атомами азота, и способ его приготовления // Патент 2750709 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.
16. Свайкат Н. Способ выращивания нитевидных кристаллов кремния // Патент 2750732 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.
17. Мальчуков В.В., Мецкер Е.А., Андрианов М.А. Сырьевая смесь для изготовления крупноразмерной заготовки сверхтвердого композитного материала, крупноразмерная заготовка сверхтвердого композитного материала и способ ее получения // Патент 2750448 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.
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. — DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31.
19. Труонг К. Н. Биоконтактные фильтрационные резервуары, системы очистки воды и методы очистки загрязненных источников воды. VN1/070771. 2020. Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=VN308555523>.
20. Клинов Д.В. Способ формирования наноструктурированных композитных материалов // Патент 2749020 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 16.
21. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Переверзев А.С. Способ получения спеченных изделий из одноосно спрессованных электроэрозионных нанодисперсных порошков свинцовой бронзы // Патент 2748659 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 16.
22. Вакарин С.В., Семерикова О.Л., Косов А.В. и др. Электрохимический способ получения нановискеров оксида меди // Патент 2747920 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 14.
23. Иванов Л.А., Ишков А.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть IV // Нанотехнологии в строительстве. — 2020. — Том 12, № 5. — С. 275–284. — DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284.
24. Нгуен К., Нгуен П. Химически функционализированный графен и его применение // Патент США. US284281968. Номер публикации 20200056081. 2020. Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US284281968>
25. Дейнека М.Д., Коль Д., Патил М.Д. Защищающая от излучения ближнего инфракрасного диапазона прозрачная стеклокерамика // Патент 2747856 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 14.
26. Зеленов В.И., Андрийченко Е.О., Бовыка В.Е. Способ получения наночастиц оксида меди (II) // Патент 2747435 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 13.
27. Гаршев А.В., Путляев В.И., Евдокимов П.В. и др. Металлические пигменты с антикоррозионными покрытиями на основе алюминия и/или его сплавов // Патент 2746989 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 12.
28. 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. — DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338.
29. Есаулов С.К., Есаулова Ц.В. Способ получения композиционного металл-дисперсного покрытия, дисперсная система для осаждения композиционного металл-дисперсного покрытия и способ ее получения // Патент 2746863 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 12.
30. Кию Ч. Новая экологичная стеновая доска из бамбуковой древесной муки. CN212926688U. Worldwide applications. 2020. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/CN212926688U/en?q=nanotechnology+&after=priority:20200101&status=GRANT&page=4>.
31. Столярова С.Г., Окопуб А.В., Булушева Л.Г. Способ получения наноструктурированного материала для анодов металл-ионных аккумуляторов // Патент 2751131 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Писаренко Жанна Викторовна, доктор экономических наук, доцент кафедры управления рисками и страхования экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>, e-mail: z.pisarenko@spbu.ru

Нгуен Кан Тоан, доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института европейских исследований, Вьетнамской академии общественных наук, Ханой, Вьетнам, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8709-2283>, e-mail: okabc007@gmail.com

Муминова Светлана Рашидовна, канд. техн. наук, доцент, Руководитель группы по внешним связям, Центр Новых Технологий «НаноСтроительство», г. Королев, Московская область, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5236-607X>, e-mail: it.rguts@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 28.06.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 02.08.2021.

Статья принята к публикации: 05.08.2021.



Development of an intelligent control system for the process of preparation and water transfer in the cooling circuit of an ammonia station

E.A. Muravyova* , A.V. Kochenkov

Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak, Russia

* Corresponding author: e-mail: muraveva_ea@mail.ru

ABSTRACT: Introduction. In the modern socio-economic and geopolitical development of Russia, the development of industry comes to the fore. Among the many industries, ammonia stations play the most important role. **The main regularities of the process of pumping and preparing water.** The process consists of six stages, this article discusses the automation of stages 1 and 2: for water treatment and pumping it out with pumps H1 and H2 from the tank P2. Products in the form of purified water are the most important criteria for subsequent production at an ammonia plant, therefore, increased requirements are imposed on the quality of finished products, including the quality of purification of the water used with the help of nanofilters. The required quality cannot be achieved without control the process in an automated mode. **Development of a neural network.** To control the converters frequency values during the preparation and pumping of water, an artificial neural network must be used. Its development was carried out in the Matlab environment in the Neural Network Toolbox package, input and output data were defined for this, data processing and preparation were performed, as well as the choice of the type and architecture of the neural network. The architecture of the Layer Recurrent neural network, the process of its construction and training in Matlab is described. **Testing of neural networks.** During testing of the Layer Recurrent network for the degree of their training, the smallest error was obtained for 30 neurons in the hidden layer. The proximity to the set values indicates the applicability of the network for controlling the parameters of frequency converters. **Development of the neural network controller model in the Simulink package.** The simulation of the control system in the Simulink package using a neural network controller with the Layer Recurrent architecture is performed. Checking the frequencies of the frequency converters H1 and H2 in Simulink for the level parameters in the tanks and in the tank LT_{1_BX} , LT_{2_BX} , LT_{3_BX} showed that the object model works correctly, thus, the simulation of the neural network showed that the training was successful. **Conclusion.** As a result of the conducted research, an artificial neural network was developed to control the process of preparing and pumping water in the Matlab environment and a simulation of a neural network in the Simulink package.

KEY WORDS: process, ammonia station, nanofilters, development, neural network.

FOR CITATION: Muravyova E.A., Kochenkov A.V. Development of an intelligent control system for the process of preparation and water transfer in the cooling circuit of an ammonia station. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 252–258. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-252-258.

INTRODUCTION

For the process of water preparation and pumping to feed it to the cooling circuit of the ammonia station, it is necessary that the frequency converters of the H1 and H2 pumps work without interruption. The operation of frequency converters is determined by the liquid level in the reservoir P2, in sections 1 and 2, and the level of the liquid in the backwater basin B1.

If the levels in sections 1 and 2 are high, and the level in tank B1 is low, then it is necessary that the values of the frequencies of the converters are high. If the levels in sections 1 and 2 are low, and the level in tank B1 is high, then it is necessary that the values of the frequency converters are low.

This article investigates a method for controlling the processes of water preparation and pumping occurring at stages 1 and 2, precise control of which is necessary for

a smooth supply of water for purification to nanofilters, it is the use of a neural network to create a supply controllers that protects nanofilters from failure, thereby providing of their safety system.

The aim of the study is to develop an artificial neural network to control the process of preparing and water transfer in the Matlab R2017b environment and to simulate the neural network in Simulink.

To maintain the stability of the technological process for the preparation and water transfer, it is necessary to control directly the parameters of the frequency converters of the pumps. Based on the research carried out, a neural network was developed, which is used to regulate the parameters of pumps by using frequency converters F1 and F2 [8].

When using a control system based on PID controllers, there is a problem of the lack of compensation for disturbances and taking into account the mutual influence of technological parameters, which leads to instability in the control of the object. [5].

1. Main regularities of the process water pumping and treatment

The technology of water pumping and treatment is based on the collection of stormwater runoff into the tank P1, followed by pumping by pumps to filter columns. The process of water pumping and treatment includes the main stages [7]:

- 1) water treatment (collection of storm drains, sludge and coarse filtration) from tank P1 to tank P2;
- 2) pumping water with pumps H1 and H2 from the tank P2;
- 3) water purification on nanofilters F01 and F02 from small mechanical impurities;
- 4) water purification by ion exchange method in the filter column F03;
- 5) water purification on the filter column of de-ironing F04;

6) purification from ammonia by filtration on an ammonia filter F05, which helps to improve the pH concentration of purified water.

As the final products of the production process of water pumping and treatment, purified water is obtained to feed the cooling circuit of the ammonia station.

During flushing, the contaminated water is drained into the sewer.

The process of water pumping and treatment is designed to purify water and feed it into the cooling circuit of an ammonia station. This article discusses the automation of the 1st and 2nd stages of the process.

The process of preparation and water transfer includes [4]:

- tanks (P1, P2) – designed for collection, fine filtration and subsequent pumping to filter columns;
- pumps (H1, H2) – transfer water from the P2 reservoir to the filter columns;
- skimmers (H3, H4) – collect oil slick from reservoir P2;
- filter columns (F01–F05) (5 pieces) – carry out complete water purification.

2. Development of a neural network

To control the values of the converter frequencies during the preparation and water transfer, it is necessary to introduce an artificial neural network.

The development of ANN (artificial neural network) is carried out in the Matlab R2017b environment in the Matlab Neural Network Toolbox [7].

The process of preparing and water transfer for building a neural network model can be conditionally divided into 5 main stages.

At the first stage, the analysis and selection of input data was carried out, which significantly affect the controlled process.

At the second stage, the definition and collection of input data is carried out and the methods of obtaining the output values are selected.

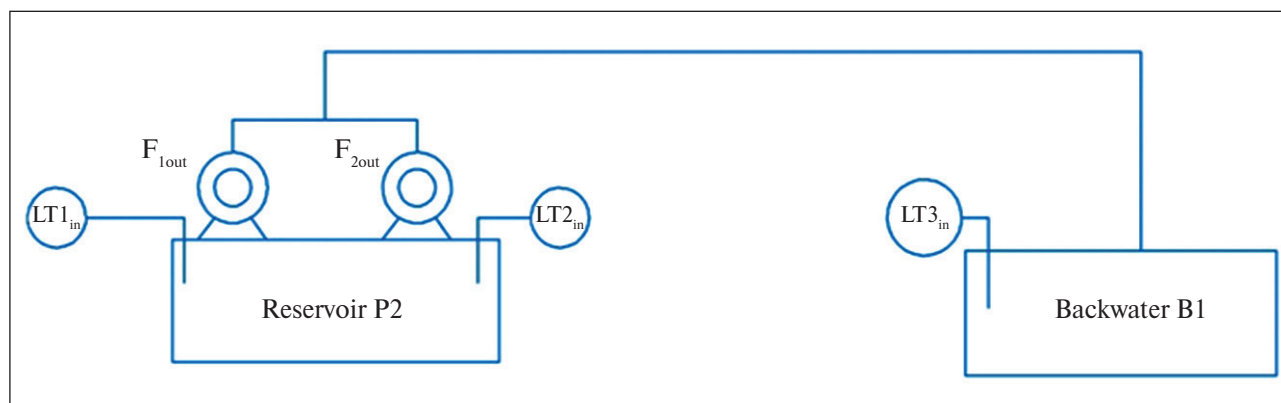


Fig. 1. Functional diagram of the automation of the process of preparation and water transfer

The third stage is the choice of the ANN architecture.
At the fourth stage, the network is trained.

At the fifth stage, the effectiveness of the created neural network is checked. [2-5].

2.1. Definition of inputs and outputs

To solve the problem using a neural network, it is necessary to collect data for training. Output parameters - the values of frequencies of frequency converters F_{1out} , F_{2out} vary depending on the input parameters $LT1_{in}$, $LT2_{in}$, $LT3_{in}$ according to the dependencies below. The output was calculated using the formulas:

$$F_{1out} = (LT1_{in}/(LT3_{in}/LT1_{in})) \cdot 2; \quad (1)$$

$$F_{2out} = (LT2_{in}/(LT3_{in}/LT2_{in})) \cdot 2, \quad (2)$$

where $LT1_{in}$ – water level in section 1 of reservoir P2;
 $LT2_{in}$ – water level in section 2 of reservoir P2;
 $LT3_{in}$ – water level in the circulating water tank B1;
 F_{1out} – first pump power;
 F_{2out} – second pump power.

If the levels in sections 1 and 2 are high and the level in tank B1 is low, then it is necessary that the values of the frequency converters are high. In the event that the levels in sections 1 and 2 are low, and the level in tank B1 is high, then it is necessary that the values of the frequencies of the frequency converters are low [10].

Next, let's prepare the data for training the neural network.

3 values will be fed to the input of the neural network:

1. Water level in section 1 $LT1_{in}$ of tank P2 (0÷100) %;
2. Water level in section 2 $LT2_{in}$ of tank P2(0÷100) %;
3. Water level in backwater basin $LT3_{in}$ B1(0÷100) %;

At the output, the neural network must calculate:

1. The number of revolutions of the pump motor $F1(0÷2000)$ r/s;
2. The number of revolutions of the pump motor $F2(0÷2000)$ r/s.

2.2. Data processing and preparation

Using formulas (1–2), let's create a table with the training set. It consists of 1044 examples.

2.3. Choosing the type and architecture of a neural network

During the analysis, it was decided to select Layer Recurrent neural networks (recurrent neural networks). The selection criteria were as follows: high accuracy of the output values due to feedbacks of the selected architecture, nonlinear structure of the selected neural network architecture, a large number of sources for it.

Table 1

The training set

№	Inputs			Outputs	
	$LT1_{in}$, %	$LT2_{in}$, %	$LT3_{in}$, %	F_{1out} , r/s	F_{2out} , r/s
1	1	1	5	0	0
2	1	1	10	0	0
3	1	1	15	0	0
4	1	1	20	0	0
5	1	1	25	0	0
6	1	1	30	0	0
...	...	...	...	...	...
1039	100	100	75	266	266
1040	100	100	80	250	250
1041	100	100	85	235	235
1042	100	100	90	222	222
1043	100	100	95	210	210
1044	100	100	100	200	200

There is no unambiguous methodology for choosing the number of hidden layers and neurons in them, and the question of how successful this or that choice is, is often decided on the basis of the experimental results of learning and testing ANN [9].

It is necessary to select the number of neurons in the hidden layer. Choosing the right amount is a very important step [2]. Too few and the network will not be able to learn. Too much will lead to an increase in the training time of the network to a virtually unrealistic value. There is no easy way to determine the required number of elements in a hidden network layer. In this case, the required number of neurons in the hidden layer for the smallest error of the Layer Recurrent neural network was experimentally established – 30 [14].

The network will be trained using a modified error backpropagation algorithm: trainFcn = 'trainbr'.

We set the maximum number of training epochs, which determines the number of epochs (time interval) after which training will be terminated: epochs = 1000.

Let's choose the number of epochs between impressions equal to twenty five: show = 25

We set the criterion for the end of training – the deviation value at which the training will be considered complete: goal = 0.

2.4 Layer Recurrent neural network architecture description

Layer Recurrent neural networks are networks where connections between elements form a directional se-

quence. This makes it possible to process data in time or sequential spatial data chains. The training of recurrent neural networks is carried out by the method of back propagation of the error, which makes it possible to train the weight coefficients with repeated training of the network, which in turn increases the efficiency of training the ANN [13].

2.5 Building and training a neural network in Matlab

We will implement and train a neural network of the Layer Recurrent architecture in Matlab. For this we use the nntool instrument. Let's call the input data of the neural network input, and the output data – output. Let's select the Layer Recurrent neural network. The uploaded data will be displayed in the working window “Workspace”.

The entrance to the “Neural network training” tab is carried out using the nntool command [7]. A signal x is received at the input of the neural network, which consists of the following parameters: the water level in the reservoir P2 of section 1 LT_{1in} , the level in the reservoir P2 of section 2 LT_{2in} , the level in the backwater basin B1 LT_{3in} . An adder “+” multiplies each input b_i by the weight w_i and adds the weighted inputs. Then the value passes through the activation function of the corresponding layer and the outputs are calculated: the powers of the frequency converters F_{1out} , F_{2out} .

Using the NNTTool command, the entrance to the “Neural network training” tab will be implemented. In the Input Data work window, the input values “Input” are entered. In the work window Target Data (target data) enter the output values “Output”.

2.6 Layer Recurrent architecture neural network

Let's analyze the following Layer Recurrent neural network. 30 neurons were selected in the hidden layer.

At the end of the NN learning process, a window for the completion of the learning process appears, which displays the number of iterations performed – 1000, the time spent on training – 00:01:07 h, the value of the root mean square error – 0.18887, the value of the gradient – 0.27445, the value of regularization – 0.01 and the

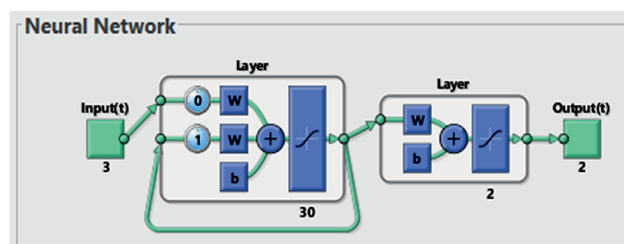


Fig. 2. Training a neural network

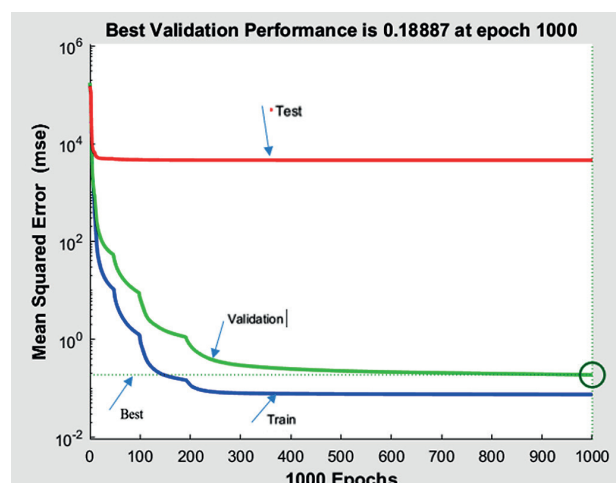


Fig. 3. Mean square error

frequency of deviations of the obtained values from the specified error is 0.

The change in the real value from the true we can be observe on the training graph of the Layer Recurrent neural network in the training completion window (Figure 3). From the training graph of the Layer Recurrent neural network, we can see that the mean square error value of 0.18887 was achieved in 1000 epochs, which is less than the specified one – 0.315.

Further, you can see how the gradient and the learning coefficient changed during the training of the neural network (Figure 4). The gradient of the functional of the learning error by the weights of the Layer Recurrent neural network is shown in the gradient graph (Figure 4). The weights of the neural network are considered as arguments of the Layer Recurrent neural network, where a gradual movement takes place to lower and lower points in the plane of the graph in order to find the minimum. On the

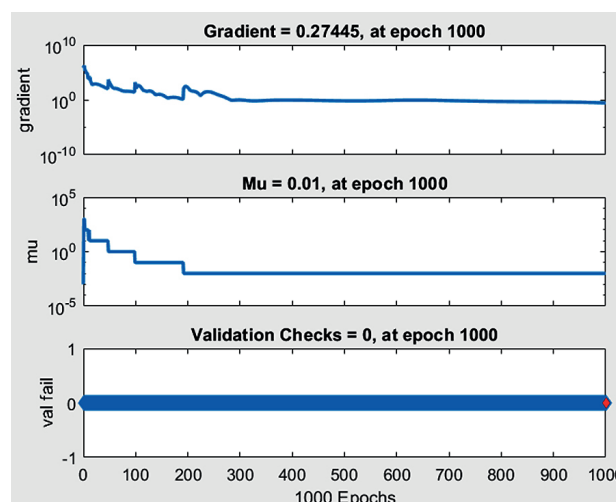


Fig. 4. Graphs of network training

gradient graph when training the Layer Recurrent neural network, you can observe abrupt transitions to find the best value for adjusting the values of the training sample. The gradient value (Figure 4) for the Layer Recurrent neural network equal to 0.27445 shows the sum of all adjustments for the variables that were maximally higher than the error rate.

The change in the regularization variable when training the Layer Recurrent neural network can be observed on the Mu graph (Figure 4). The regularization parameter is changed using the method we have chosen – Levenberg–Markart. To adjust the values of the training sample of the Layer Recurrent neural network and retrain the neural network, a range of numerical values is used – this is called regularization. In Figure 4, you can see that this number takes on a value of 10^{-3} , and we can conclude that the rate of the value is small, so it can be neglected.

The frequency of deviations of the obtained values from the prescribed error is shown by Validation checks (Figure 4). Figure 4 shows that:

– in the range from 0 to 1000 learning epochs, the frequency of deviations does not change and equals 0.

After analyzing the Validation checks graph, we can conclude that in the process of training the Layer Recurrent neural network for the smallest error, it is better to stop training the Layer Recurrent neural network at 1000 epochs. Since deviations no longer occur after 1000 epochs, it is advisable to stop training the neural network.

The final value of 0, which we observe on the Validation checks graph, shows that the frequency of deviations of the Layer Recurrent neural network reaches the minimum value when the 1000 epoch is reached.

3. Neural network testing

To test neural networks for the degree of their training, we supply 3 values to the input in the main Matlab window [15–16].

3.1 Testing the neural network of the Layer Recurrent architecture

We introduce a new variable $xx = [100; 100; 100]$ $LT1_{in} = 100$, $LT2_{in} = 100$, $LT3_{in} = 100$. We introduced a new variable xx to check the output values (frequency converters) [6].

Next, let's simulate and print the output values.

1. For 30 neurons in the hidden layer

To test the neural network, take the test data (Table 2).

Test results: received output values of frequencies of frequency converters F_{1out} , F_{2out} .

$F_{1out} = 199.75$;

$F_{2out} = 199.74$.

During testing of the Layer Recurrent network, the smallest error was obtained for 30 neurons in the hidden

Table 2

Verification data for output values (for 30 neurons)

Input			Output	
$LT1_{in}, \%$	$LT2_{in}, \%$	$LT3_{in}, \%$	$F_1, \text{r/s}$	$F_2, \text{r/s}$
100	100	100	200	200

layer [4]. Initial data (200; 200). The proximity to the specified values (199.75; 199.74) indicates the applicability of the network. In the future, it can be used to control the parameters of frequency converters.

4. Development of a neural network controller model in the Simulink package

Figure 5 shows a general view of the Layer Recurrent neural network, where the Custom Neural Network block denotes the artificial neural network itself. Into the Constant block we enter the input values $LT1_{in}$, $LT2_{in}$, $LT3_{in}$, and the block y1 displays the output values of F_{1out} and F_{2out} .

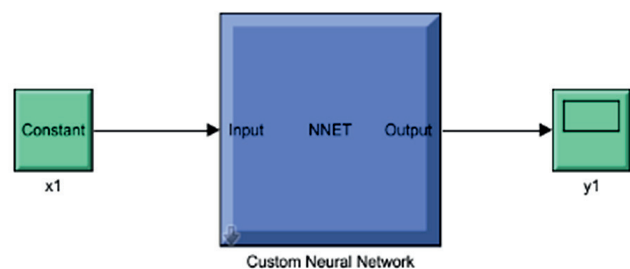


Fig. 5. General view of a neural network in Simulink

Figure 6 shows the general architecture of Layer Recurrent. From the Input block, the signals $LT1_{in}$, $LT2_{in}$, $LT3_{in}$ are sent for analysis to the Process Input 1 block, then the input signal goes to the hidden layer Layer 1. Layer 2 accepts the Layer 1 output and calculates the outputs F_{1out} and F_{2out} .

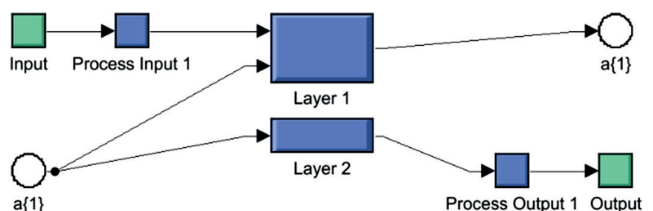


Fig. 6. General architecture of Layer Recurrent

Figure 7 shows the hidden layer of the neural network Layer 1, where the adder “+” multiplies each input b_i by the weight w_i and sums the weighted inputs.

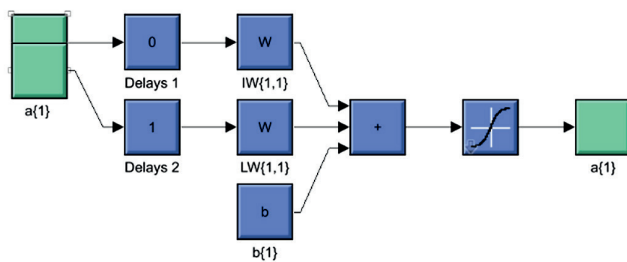


Fig. 7. Hidden layer of the neural network Layer 1

Figure 8 shows the output layer of the neural network Layer 2, the value from Layer 1 passes through the activation function of the corresponding output layer of Layer 2 and the outputs F_{1out} and F_{2out} are calculated.

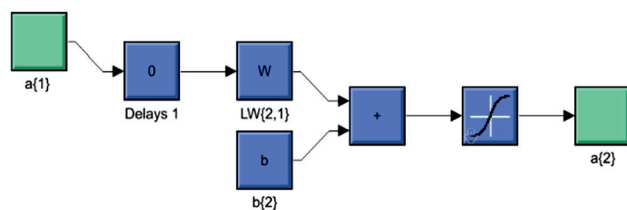


Fig. 8. The output layer of the neural network

Let's check the frequency converters F_{1out} and F_{2out} in Simulink for LT_{1in} , LT_{2in} , LT_{3in} [100; 100; 100] then change the input values to [4; 4; 100] (Figure 9). Figure 9 displays the F_{1out} and F_{2out} values for the input values LT_{1in} , LT_{2in} , LT_{3in} .

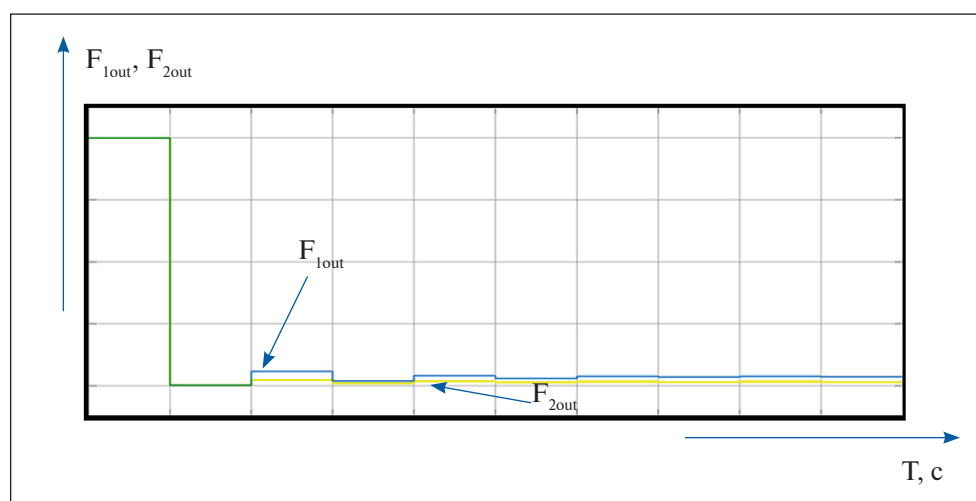


Fig. 9. The output layer of the neural network F_{1out} and F_{2out}

CONCLUSION

The article substantiates the feasibility of developing an intelligent control system for the parameters of frequency converters of pumps, implemented using a neural network Layer Recurrent. A model for controlling the parameters of frequency converters is presented, taking into account the multiple relationships between the parameters of the technological process and control signals.

As a result of training, a neural network was obtained that generates output signals with a minimum error. The initial data of the frequency converters were chosen equal to 200 r/s. The proximity of the test result to the specified values (199.75; 199.74) indicates the applicability of the network for controlling the parameters of frequency converters.

The simulation of the control system in the Simulink package using a neural network controller using the Layer Recurrent architecture has been performed. Checking the frequencies of frequency converters F_{1out} and F_{2out} in Simulink for the level parameters in reservoirs and in the tank LT_{1in} , LT_{2in} , LT_{3in} [100; 100; 100] showed that the object model is working correctly, that is, the developed neural network for the neurocontroller is trained correctly. Then we changed the input values to [4; 4; 100], which are new for the neural network. The model with them also showed correct process control.

Thus, an artificial neural network has been developed, trained and tested, which effectively controls the process of preparation and water transfer.

REFERENCES

1. Muravyova E., Popkov V. Development and Research of a Dynamic Flow Laboratory Bench Model. In: *Advances in Intelligent Systems Research 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision-Making Support (ITIDS)*. 2019. P. 1–6.
2. Muravyova E., Gabitov R. Economic Features to Optimize the Catalyst Calcinations Process. In: *International scientific multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FAREASTCON)*. 2018. P. 1–8.
3. Muravyova E., Sharipov M., Gabitov R. SCADA-System Based on Multidimensional Precise Logic Controller for the Control of a Cement Kiln. In: *International scientific multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FAREASTCON)*. 2018. P. 1–9.
4. Muravyova E., Bondarev A. Method for Increasing the Speed and Reducing the Error of Multidimensional Precise Logic Controller. In: *International scientific multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FAREASTCON)*. 2018. P. 1–11.
5. Muravyova E., Sharipov M. Method of optimal parameters control in three-phase separator using fuzzy controller. In: *Proceedings of the International conference actual issues of mechanical engineering (AIME)*. 2018. P. 1–8.
6. Muravyova E., Fedorov S., Bondarev A. Control Systems with Pulse Width Modulation in Matrix Converters. In: *International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS)*. 2017. P. 1–7.
7. Muravyova E., Bondarev A., Sharipov M., Galiaskarova G., Kubryak A. Power consumption analysis of pump station control systems based on fuzzy controllers with discrete terms in iThink software. In: *International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS)*. 2017. P. 1–8.
8. Muravyova E., Azanov A., Enikeeva E. Modeling power consumption by pump station control systems based on fuzzy controllers with discrete terms. In: *Proceedings of the international conference: aviamechanical engineering and transport (AVENT)*. 2018; p. 1–6.
9. Muravyova E., Sharipov M., Radakina D. Method of fuzzy controller adaptation. In: *Proceedings of the international conference actual issues of mechanical engineering (AIME)*. 2017. P. 1–7.
10. Muravyova E., Bondarev A. Fuzzification Concept Using the Any-time Algorithm on the basis of Precise Term Sets. In: *International conference on industrial engineering, applications and manufacturing (ICIEAM)*. 2017. P. 1–9.
11. Muravyova E., Sharipov M. Two Fuzzy Controller Synthesis Methods with the Double Base of Rules: Reference Points and Training Using. In: *International conference on industrial engineering, applications and manufacturing (ICIEAM)*. 2017. P. 1–7.
12. Muravyova E., Kayashev A., Sharipov M., Emekeev A., Sagdatullin A. Verbally Defined Processes Controlled by Fuzzy Controllers with Input/Output Parameters Represented by Set of Precise Terms. In: *International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS)*. 2014. P. 1–8.
13. Yoshiko H., Shunji U., Taiko K. Evaluation of artificial neural network classifiers in small sample size situations. In: *Pros. Int. It. Conf. Neural Networks*. 2019. P. 1–6.
14. Wasserman F. *Brain-computer equipment*. Transl. from Eng. Moscow: Mir; 1992.
15. Hrycej T. *Neurocontrol: Towards An Industrial Control Methodology*. John Wiley & Sons. 2018. 380 p.
16. Istvan Szite, Andras Lorincz. *Simple algorithm for recurrent neural networks that can learn sequence completion (IJCNN)*. 2019. P. 1–6.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Muravyova, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department «Automated Technological and Information Systems», Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7118-5570>, e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Alexander V. Kochenkov, Student of the Department «Automated technological and information systems», Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-6491>, e-mail: ko4enkov.alex@yandex.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 30.06.2021.

Revised: 19.07.2021.

Accepted: 22.07.2021.



Разработка интеллектуальной системы управления процессом подготовки и перекачки воды в контуре охлаждения аммиачной станции

Е.А. Муравьева^{*} , А.В. Коченков

Филиал ФГБОУ ВО «УГНТУ» г. Стерлитамак, Россия

***Контакты:** e-mail: muraveva_ea@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. В современном социально-экономическом и геополитическом развитии России на первый план выходит развитие промышленности. Среди множества отраслей промышленности важнейшая роль принадлежит аммиачным станциям. **Основные закономерности процесса перекачки и подготовки воды.** Процесс состоит из шести стадий, в данной статье рассматривается автоматизация 1 и 2 стадий: по подготовке воды и откачке её насосами Н1 и Н2 из резервуара Р2. Продукция в виде очищенной воды является важнейшим критерием для последующего производства на аммиачной станции, поэтому к качеству готовой продукции предъявляются повышенные требования, в том числе к качеству очистки используемой воды с помощью нанофильтров. Требуемого качества невозможно достичь без управления процессом в автоматизированном режиме. **Разработка нейронной сети.** Для управления значениями частот преобразователей в процессе подготовки и перекачки воды использована искусственная нейронная сеть. Ее разработка произведена в среде Matlab в пакете Neural Network Toolbox, для этого определены входные и выходные данные, произведена обработка и подготовка данных, а также выбор типа и архитектуры нейросети. Описана архитектура нейросети Layer Recurrent, процесс её построения и обучения в Matlab. **Тестирование нейронных сетей.** В ходе тестирования сети Layer Recurrent на предмет степени обученности наименьшая погрешность была получена для 30 нейронов в скрытом слое. Близость к заданным значениям свидетельствует о применимости сети для управления параметрами частотных преобразователей. **Разработка модели нейросетевого регулятора в пакете Simulink.** Выполнено моделирование системы управления в пакете Simulink с использованием нейросетевого регулятора с архитектурой Layer Recurrent. Проверка частот частотных преобразователей $\chi_{1_{\text{вых}}}$ и $\chi_{2_{\text{вых}}}$ в Simulink для параметров уровня в резервуарах и в баке $LT_{1_{\text{БК}}}$, $LT_{2_{\text{БК}}}$, $LT_{3_{\text{БК}}}$ показала, что модель объекта работает корректно, таким образом симуляция нейросети показала, что обучение прошло успешно. **Заключение.** В результате проведенного исследования разработана искусственная нейронная сеть для управления процессом подготовки и перекачки воды в среде Matlab и симуляция нейросети в пакете Simulink.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: процесс, аммиачная станция, нанофильтры, разработка, нейронная сеть.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Муравьева Е.А., Коченков А.В. Разработка интеллектуальной системы управления процессом подготовки и перекачки воды в контуре охлаждения аммиачной станции // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 4. – С. 252–258. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-252-258.

ВВЕДЕНИЕ

Для процесса подготовки и перекачки воды для подпитки ею контура охлаждения аммиачной станции необходимо, чтобы на стадиях подготовки и перекачки воды частотные преобразователи насосов Н1 и Н2 работали без перебоев. Работа частотных преобразователей определяется уровнем жидкости в резервуаре Р2, в секциях 1 и 2, и уровнем жидкости в баке оборотной воды Б1.

Если уровни в секциях 1 и 2 будут высокими, и уровень в баке Б1 будет низким, то необходимо, чтобы значения частот преобразователей были высокими. В случае, если уровни в секциях 1 и 2 будут низкими, и уровень в баке Б1 будет высоким, то необходимо, чтобы значения частот частотных преобразователей были низкими.

В данной статье производится исследование метода для управления процессами подготовки и перекачки воды, происходящими на 1 и 2 стадиях, ка-

чественное управление которыми необходимо для плавной подачи воды для очистки на нанофильтры, именно использование нейронной сети для создания регулятора подачи защищает нанофильтры от выхода из строя, обеспечивая тем самым систему их противоаварийной защиты.

Целью исследования является разработка искусственной нейронной сети для управления процессом подготовки и перекачки воды в среде Matlab R2017b и симуляция нейросети в Simulink.

Для поддержания стабильности технологического процесса подготовки и перекачки воды необходимо управлять непосредственно параметрами частотных преобразователей насосов. На основании проведенных исследований была разработана нейронная сеть, которая применяется для регулирования параметров насосов путем использования частотных преобразователей Ч1 и Ч2 [8].

При использовании системы управления на основе ПИД-регуляторов существует проблема отсутствия компенсации возмущения и учета взаимного влияние технологических параметров, что приводит к неустойчивости при управлении объектом [5].

1. Основные закономерности процесса перекачки и подготовки воды

Технология перекачки и подготовки воды основана на сборе ливневых стоков в резервуар Р1 с последующей перекачкой насосами на фильтрующие колонны. Процесс перекачки и подготовки воды включает основные стадии [7]:

- 1) подготовка воды (сбор ливневых стоков, отстой и грубая фильтрация) из резервуара Р1 в резервуар Р2;
- 2) откачка воды насосами Н1 и Н2 из резервуара Р2;
- 3) очистка воды на нанофильтрах поз. Ф01 и Ф02 от мелких механических примесей;
- 4) очистка воды методом ионного обмена в фильтрующей колонне поз. Ф03;
- 5) очистка воды на фильтрующей колонне обезжелезивания поз. Ф04;

6) очистка от аммиака путем фильтрации на аммиачном фильтре поз. Ф05, что способствует улучшению концентрации рН очищенной воды.

В качестве конечных продуктов производственного процесса перекачки и подготовки воды получают очищенную воду для подпитки контура охлаждения аммиачной станции.

Во время промывки загрязненная вода сливается в канализацию.

Процесс перекачки и подготовки воды предназначен для очистки воды и подпитки ею контура охлаждения аммиачной станции. В данной статье рассматривается автоматизация 1 и 2 стадий процесса.

Процесс перекачки и подготовки воды включает в себя [4]:

- резервуары (Р1, Р2) – предназначены для сбора, мелкой фильтрации и последующей откачки на фильтрующие колонны;
- насосы (Н1, Н2) – осуществляют перекачку воды из резервуара Р2 в фильтрующие колонны;
- скиммеры (Н3, Н4) – осуществляют сбор нефтяной пленки из резервуара Р2;
- фильтрующие колонны (Ф01 – Ф05) (5 штук) – осуществляют полную очистку воды.

2. Разработка нейронной сети

Для управления значениями частот преобразователей в процессе подготовки и перекачки воды необходимо внедрить искусственную нейронную сеть.

Разработка ИНС (искусственной нейронной сети) производится в среде Matlab R2017b в пакете Matlab Neural Network Toolbox [7].

Процесс подготовки и перекачки воды для построения нейросетевой модели можно условно разделить на 5 основных этапов.

На первом этапе проведен анализ и отбор входных данных, которые существенным образом влияют на управляемый процесс.

На втором этапе осуществляется определение и сбор входных данных, и выбираются способы получения выходных значений.

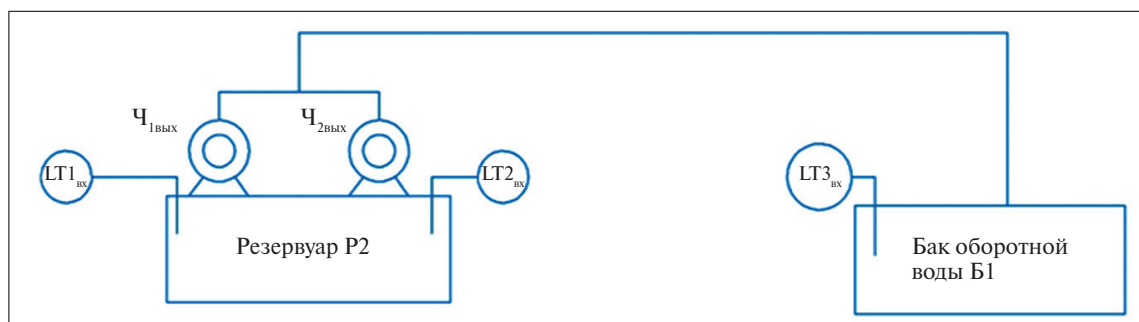


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации процесса подготовки и перекачки воды

Третий этап заключается в выборе архитектуры ИНС.

На четвертом этапе производится обучение сети.

На пятом этапе проверяется эффективность созданной нейронной сети [2–5].

2.1. Определение входных и выходных данных

Для решения задачи с помощью нейронной сети необходимо собрать данные для обучения. Выходные параметры — значения частот преобразователей частоты $\chi_{1\text{вых}}$, $\chi_{2\text{вых}}$ — изменяются в зависимости от входных параметров $LT1_{\text{вх}}$, $LT2_{\text{вх}}$, $LT3_{\text{вх}}$ по приведенным ниже зависимостям. Выходные данные рассчитали по формулам:

$$\chi_{1\text{вых}} = (LT1_{\text{вх}} / (LT3_{\text{вх}} / LT1_{\text{вх}})) \cdot 2; \quad (1)$$

$$\chi_{2\text{вых}} = (LT2_{\text{вх}} / (LT3_{\text{вх}} / LT2_{\text{вх}})) \cdot 2, \quad (2)$$

где $LT1_{\text{вх}}$ — уровень воды в секции 1 резервуара P2;

$LT2_{\text{вх}}$ — уровень воды в секции 2 резервуара P2;

$LT3_{\text{вх}}$ — уровень воды в баке оборотной воды B1;

$\chi_{1\text{вых}}$ — мощность первого насоса;

$\chi_{2\text{вых}}$ — мощность второго насоса.

В случае, если уровни в секциях 1 и 2 будут высокими, и уровень в баке B1 будет низким, то необходимо, чтобы значения частот частотных преобразователей были высокими. В том случае, если уровни в секциях 1 и 2 будут низкими, и уровень в баке B1 будет высоким, то необходимо, чтобы значения частот частотных преобразователей были низкими [10].

Далее подготовим данные для обучения нейронной сети.

На вход нейронной сети будут подаваться 3 значения:

1. Уровень воды в секции 1 $LT1_{\text{вх}}$ резервуара P2 (0÷100) %.

2. Уровень воды в секции 2 $LT2_{\text{вх}}$ резервуара P2 (0÷100) %.

3. Уровень воды в баке оборотной воды $LT3_{\text{вх}}$ B1 (0÷100) %.

На выходе нейронная сеть должна рассчитать:

1. Количество оборотов двигателя насоса χ_1 (0÷2000) об/сек.

2. Количество оборотов двигателя насоса χ_2 (0÷2000) об/сек.

2.2. Обработка и подготовка данных

Используя формулы (1–2), создадим таблицу с обучающим набором данных. Она состоит из 1044 примеров.

Таблица 1

Обучающий набор данных

№	Входы			Выходы	
	$LT1_{\text{вх}}$, %	$LT2_{\text{вх}}$, %	$LT3_{\text{вх}}$, %	$\chi_{1\text{вых}}$, об/сек	$\chi_{2\text{вых}}$, об/сек
1	1	1	5	0	0
2	1	1	10	0	0
3	1	1	15	0	0
4	1	1	20	0	0
5	1	1	25	0	0
6	1	1	30	0	0
...	...	...	...	...	...
1039	100	100	75	266	266
1040	100	100	80	250	250
1041	100	100	85	235	235
1042	100	100	90	222	222
1043	100	100	95	210	210
1044	100	100	100	200	200

2.3. Выбор типа и архитектуры нейросети

В ходе анализа решено было выбрать Layer Recurrent neural networks (рекуррентные нейронные сети). Критерии для выбора были следующими: высокая точность выходных значений за счет обратных связей выбранной архитектуры, нелинейное строение выбранной архитектуры нейросети, большое количество источников по ней.

Однозначной методики выбора количества скрытых слоев и нейронов в них нет, и вопрос о том, насколько успешным является тот или иной выбор, зачастую решается на основании экспериментальных результатов обучения и тестирования ИНС [9].

Необходимо выбрать количество нейронов в скрытом слое. Выбор правильного количества является очень важным этапом [2]. Слишком малое количество — и сеть не сможет обучиться. Слишком большое повлечет за собой увеличение времени обучения сети до фактически нереального значения. Не существует простого способа для определения необходимого числа элементов в скрытом слое сети. В данном случае экспериментально установлено необходимое число нейронов в скрытом слое для наименьшей погрешности нейросети Layer Recurrent — 30 [14].

Обучение сети будет производиться по модифицированному алгоритму обратного распространения ошибки: trainFcn = 'trainbr'.

Задаем максимальное количество эпох (epochs) обучения, которое определяет число эпох (интервал

времени), по прошествии которых обучение будет прекращено: $\text{epochs} = 1000$.

Выберем количество эпох между показами, равное двадцати пяти: $\text{show} = 25$.

Задаем критерий окончания обучения – значение отклонения, при котором обучение будет считаться законченным: $\text{goal} = 0$.

2.4. Описание архитектуры нейросети Layer Recurrent

Нейронные сети Layer Recurrent – это вид сетей, где связи между элементами образуют направленную последовательность. Благодаря этому появляется возможность обрабатывать данные во времени или последовательные пространственные цепочки данных. Обучение рекуррентных нейронных сетей осуществляется методом обратного распространения ошибки, что дает возможность обучения весовых коэффициентов при многократном обучении сети, что в свою очередь повышает эффективность обучения ИНС [13].

2.5. Построение и обучение нейронной сети в Matlab

Реализуем и обучим в Matlab нейронную сеть архитектуры Layer Recurrent. Для этого используем инструмент `nntool`. Входные данные нейронной сети назовем `input`, а выходные – `output`. Выберем нейросеть Layer Recurrent. Загруженные данные отображаются в рабочем окне «Workspace».

Вход во вкладку «Обучение нейронной сети» осуществляется с помощью команды `nntool` [7]. На вход нейронной сети поступает сигнал x , который состоит из следующих параметров: уровень воды в резервуаре Р2 секции 1 $LT_{1\text{вх}}$, уровень в резервуаре Р2 секции 2 $LT_{2\text{вх}}$, уровень в баке оборотной воды Б1 $LT_{3\text{вх}}$. Сумматор «+» умножает каждый вход b_i на вес w_i и суммирует взвешенные входы. Затем значение проходит через функцию активации соответствующего слоя и рассчитываются выходы: мощности частотных преобразователей $\chi_{1\text{вых}}$, $\chi_{2\text{вых}}$.

С помощью команды `NNTool` будет реализован вход во вкладку «Обучение нейронной сети». В рабочем окне `Input Data` (входные данные) вводятся входные значения «Input». В рабочем окне `Target Data` (целевые данные) вводятся выходные значения «Output».

2.6. Нейронная сеть архитектуры Layer Recurrent

Проанализируем следующую нейросеть Layer Recurrent. Было выбрано 30 нейронов в скрытом слое.

По окончании процесса обучения НС появляется окно завершения процесса обучения, на котором

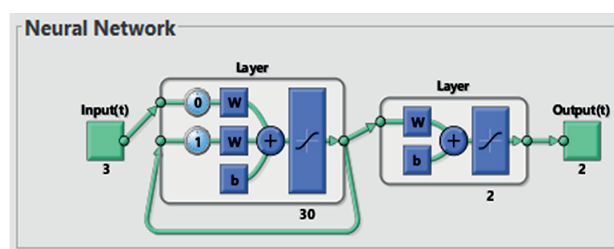


Рис. 2. Обучение нейронной сети

отображается количество проведенных итераций – 1000, затраченное время на обучение – 00:01:07 ч, величина средней квадратичной ошибки – 0,18887, величина градиента – 0,27445, величина регуляризации – 0,01 и частота отклонений полученных значений от заданной ошибки – 0.

Изменение реального значения от истинного можем наблюдать на графике обучения нейросети Layer Recurrent в окне завершения обучения (рис. 3). Из графика обучения нейросети Layer Recurrent можем увидеть, что значение среднеквадратичной ошибки 0,18887 было достигнуто за 1000 эпох, которая является меньше заданной – 0,315.

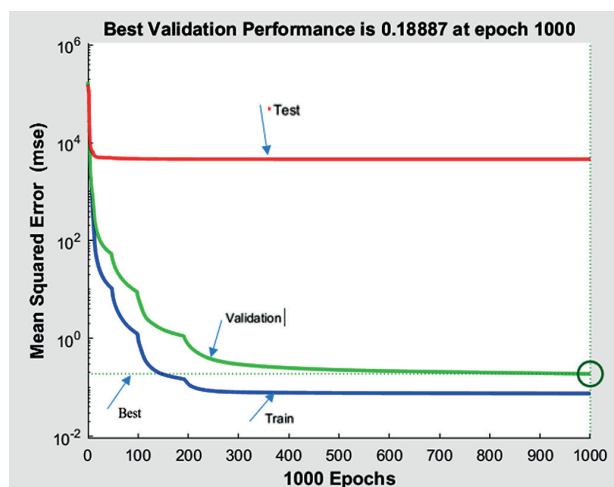


Рис. 3. Средняя квадратичная ошибка

Далее видно, как изменялся градиент и коэффициент обучения в процессе обучения нейронной сети (рис. 4). Изменение градиента функционала ошибки обучения по весам нейронной сети Layer Recurrent показывает график `gradient` (рис. 4). Веса нейросети рассматриваются как аргументы нейронной сети Layer Recurrent, где происходит постепенное движение во все более низкие точки в плоскости графика с целью поиска минимума. На графике `gradient` при обучении нейронной сети Layer Recurrent можно наблюдать резкие переходы для поиска лучшего значения для корректировки значений обучающей

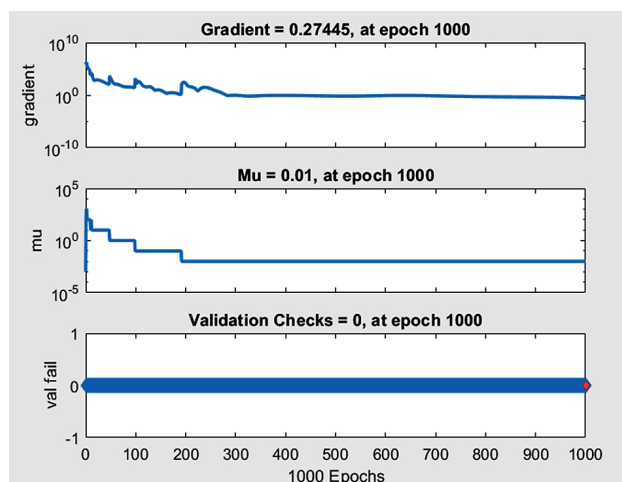


Рис. 4. Графики обучения сети

выборки. Значение градиента (рис. 4) для нейросети Layer Recurrent, равное 0,27445, показывает сумму всех корректировок для переменных, которые максимально превышали норму ошибки.

Изменение переменной регуляризации при обучении нейронной сети Layer Recurrent можно наблюдать на графике Mu (рис. 4). Изменение параметра регуляризации происходит с помощью выбранного нами метода — Левенберга-Маркарта. Для корректировки значений обучающей выборки нейронной сети Layer Recurrent и переобучения нейронной сети используется диапазон числовых значений — это называется регуляризация. На рис. 4 можно видеть, что данное число принимает значение 10^{-3} , и можно сделать вывод, что величина значения невелика, поэтому им можно пренебречь.

Частоту отклонений полученных значений от заданной ошибки показывает Validation checks (рис. 4). На рис. 4 видно, что в диапазоне с 0 по 1000 эпоху обучения частота отклонений не меняется и равняется 0.

Проведя анализ графика Validation checks, можно сделать вывод, что в процессе обучения нейронной сети Layer Recurrent для наименьшей ошибки лучше остановить обучение нейронной сети Layer Recurrent на 1000 эпохе. Так как после 1000 эпохи больше не возникают отклонения, то целесообразно остановить обучение нейросети.

Итоговое значение 0, которое наблюдаем на графике Validation checks, показывает, что частота отклонений нейросети Layer Recurrent при достижении 1000 эпохи достигает минимального значения.

3. Тестирование нейронных сетей

Для тестирования нейронных сетей на предмет степени их обученности подадим на вход 3 значения в главном окне Matlab [15–16].

3.1 Тестирование нейронной сети архитектуры Layer Recurrent

Введем новую переменную $xx = [100; 100; 100]$ $LT1_{\text{вх}} = 100$, $LT2_{\text{вх}} = 100$, $LT3_{\text{вх}} = 100$. Ввели новую переменную xx для проверки выходных значений (частот частотных преобразователей) [6].

Далее проведем симуляцию и выводим выходные значения.

1. Для 30 нейронов в скрытом слое.

Для проверки нейронной сети возьмем проверочные данные (табл. 2).

Таблица 2

Проверочные данные для выходных значений (для 30 нейронов)

Вход			Выход	
$LT1_{\text{вх}}, \%$	$LT2_{\text{вх}}, \%$	$LT3_{\text{вх}}, \%$	$\mathcal{C}_1, \text{об/сек}$	$\mathcal{C}_2, \text{об/сек}$
100	100	100	200	200

Результаты проверки: получили выводные значения частот частотных преобразователей $\mathcal{C}_{1\text{вых}}, \mathcal{C}_{2\text{вых}}$:

$\mathcal{C}_{1\text{вых}} = 199,75$;

$\mathcal{C}_{2\text{вых}} = 199,74$.

В ходе тестирования сети Layer Recurrent наименьшая погрешность была получена для 30 нейронов в скрытом слое [4]. Исходные данные — 200;200. Близость к заданным значениям (199,75;199,74) свидетельствует о применимости сети. В дальнейшем ее можно использовать для управления параметрами частотных преобразователей.

4. Разработка модели нейросетевого регулятора в пакете Simulink

На рис. 5 показан общий вид нейросети Layer Recurrent, где блок Custom Neural Network (пользовательская нейронная сеть) обозначает непосредственно искусственную нейронную сеть. В блок Constant вводим входные значения $LT1_{\text{вх}}, LT2_{\text{вх}}, LT3_{\text{вх}}$, а блок $y1$ отображает выходные значения $\mathcal{C}_{1\text{вых}}$ и $\mathcal{C}_{2\text{вых}}$.

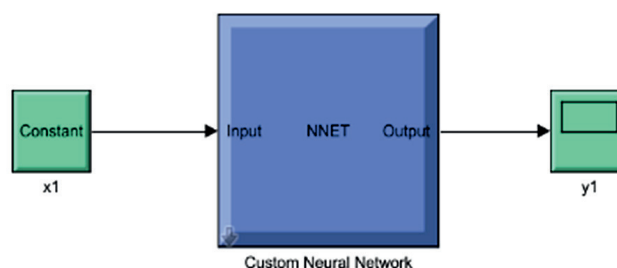


Рис. 5. Общий вид нейросети в Simulink

На рис. 6 показана общая архитектура Layer Recurrent. С блока Input (Ввод) сигналы LT_{1_BX} , LT_{2_BX} , LT_{3_BX} поступают для анализа в блок Process Input 1 (Ввод процесса), далее входной сигнал идет на скрытый слой Layer 1. Слой Layer 2 принимает выходной сигнал Layer 1 и рассчитывает выходы $\chi_{1_ВЫХ}$ и $\chi_{2_ВЫХ}$.

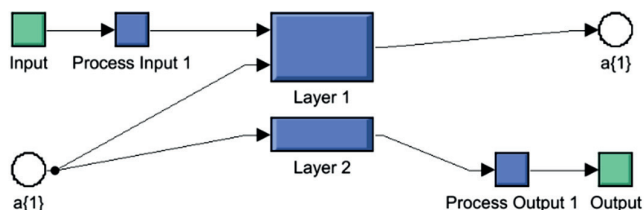


Рис. 6. Общая архитектура Layer Recurrent

На рис. 7 показан скрытый слой нейросети Layer 1, где сумматор «+» умножает каждый вход b_i на вес w_i и суммирует взвешенные входы.

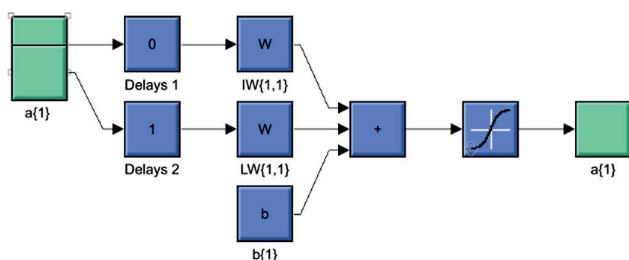


Рис. 7. Скрытый слой нейросети Layer 1

На рис. 8 показан выходной слой нейросети Layer 2, значение из слоя Layer 1 проходит через функцию активации соответствующего выходного слоя Layer 2, и рассчитываются выходы $\chi_{1_ВЫХ}$ и $\chi_{2_ВЫХ}$.

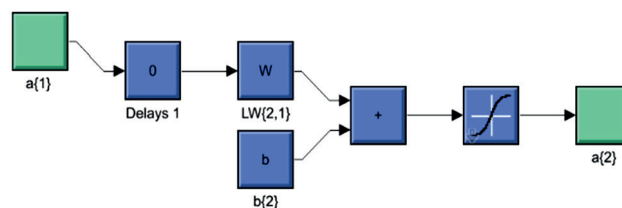


Рис. 8. Выходной слой нейросети

Проведем проверку частотных преобразователей $\chi_{1_ВЫХ}$ и $\chi_{2_ВЫХ}$ в Simulink для LT_{1_BX} , LT_{2_BX} , LT_{3_BX} [100;100;100], затем изменяем входные значения на [4;4;100] (рис. 9). Рис. 9 отображает значения $\chi_{1_ВЫХ}$ и $\chi_{2_ВЫХ}$ для входных значений LT_{1_BX} , LT_{2_BX} , LT_{3_BX} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье обоснована целесообразность разработки интеллектуальной системы управления параметрами частотных преобразователей насосов, реализуемой с использованием нейронной сети Layer Recurrent. Представлена модель для управления параметрами частотных преобразователей с учетом множества взаимосвязей между параметрами технологического процесса и управляющими сигналами.

В результате обучения получена нейронная сеть, которая формирует выходные сигналы с минимальной погрешностью. Исходные данные частотных преобразователей были выбраны равными по 200 об/сек. Близость результата тестирования к заданным значениям (199,75;199,74) свидетельствует о применимости сети для управления параметрами частотных преобразователей.

Выполнено моделирование системы управления в пакете Simulink с использованием нейросетевого

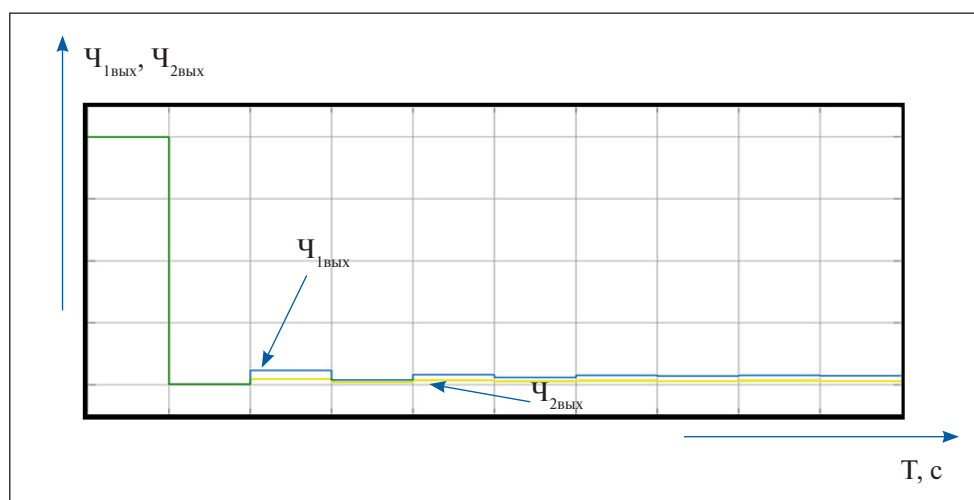


Рис. 9. Выходной слой нейросети $\chi_{1_ВЫХ}$ и $\chi_{2_ВЫХ}$

регулятора с использованием архитектуры Layer Recurrent. Проверка частот частотных преобразователей $\chi_{1_{\text{ВЫХ}}}$ и $\chi_{2_{\text{ВЫХ}}}$ в Simulink для параметров уровня в резервуарах и в баке $LT_{1_{\text{ВХ}}}$, $LT_{2_{\text{ВХ}}}$, $LT_{3_{\text{ВХ}}}$ [100;100;100] показала, что модель объекта работает правильно, то есть симуляция нейросети показывает, что обучение прошло успешно. Затем изменили

входные значения на [4;4;100], это делается для проверки нейросети на правильный переход с одних значений на другие.

Разработана, обучена и протестирована искусственная нейронная сеть для управления процессом перекачки и подготовки воды, учитывающая взаимное влияние параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muravyova E., Popkov V. Development and Research of a Dynamic Flow Laboratory Bench Model. In: *Advances in Intelligent Systems Research 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision-Making Support (ITIDS)*. 2019. P. 1–6.
2. Muravyova E., Gabitov R. Economic Features to Optimize the Catalyst Calcinations Process. In: *International scientific multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FAREASTCON)*. 2018. P. 1–8.
3. Muravyova E., Sharipov M., Gabitov R. SCADA-System Based on Multidimensional Precise Logic Controller for the Control of a Cement Kiln. In: *International scientific multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FAREASTCON)*. 2018. P. 1–9.
4. Muravyova E., Bondarev A. Method for Increasing the Speed and Reducing the Error of Multidimensional Precise Logic Controller. In: *International scientific multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FAREASTCON)*. 2018. P. 1–11.
5. Muravyova E., Sharipov M. Method of optimal parameters control in three-phase separator using fuzzy controller. In: *Proceedings of the International conference actual issues of mechanical engineering (AIME)*. 2018. P. 1–8.
6. Muravyova E., Fedorov S., Bondarev A. Control Systems with Pulse Width Modulation in Matrix Converters. In: *International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS)*. 2017. P. 1–7.
7. Muravyova E., Bondarev A., Sharipov M., Galiaskarova G., Kubryak A. Power consumption analysis of pump station control systems based on fuzzy controllers with discrete terms in iThink software. In: *International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS)*. 2017. P. 1–8.
8. Muravyova E., Azanov A., Enikeeva E. Modeling power consumption by pump station control systems based on fuzzy controllers with discrete terms. In: *Proceedings of the international conference: aviamechanical engineering and transport (AVENT)*. 2018; p. 1–6.
9. Muravyova E., Sharipov M., Radakina D. Method of fuzzy controller adaptation. In: *Proceedings of the international conference actual issues of mechanical engineering (AIME)*. 2017. P. 1–7.
10. Muravyova E., Bondarev A. Fuzzification Concept Using the Any-time Algorithm on the basis of Precise Term Sets. In: *International conference on industrial engineering, applications and manufacturing (ICIEAM)*. 2017. P. 1–9.
11. Muravyova E., Sharipov M. Two Fuzzy Controller Synthesis Methods with the Double Base of Rules: Reference Points and Training Using. In: *International conference on industrial engineering, applications and manufacturing (ICIEAM)*. 2017. P. 1–7.
12. Muravyova E., Kayashev A., Sharipov M., Emekeev A., Sagdatullin A. Verbally Defined Processes Controlled by Fuzzy Controllers with Input/Output Parameters Represented by Set of Precise Terms. In: *International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS)*. 2014. P. 1–8.
13. Yoshiko H., Shunji U., Taiko K. Evaluation of artificial neural network classifiers in small sample size situations. In: *Pros. Int. It. Conf. Neural Networks*. 2019. P. 1–6.
14. Wasserman F. *Brain-computer equipment*. Transl. from Eng. Moscow: Mir; 1992.
15. Hrycej T. *Neurocontrol: Towards An Industrial Control Methodology*. John Wiley & Sons. 2018. 380 p.
16. Istvan Szite, Andras Lorincz. *Simple algorithm for recurrent neural networks that can learn sequence completion (JCNN)*. 2019. P. 1–6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Муравьева Елена Александровна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автоматизированные технологические и информационные системы» филиала ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Стерлитамак, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7118-5570>, e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Коченков Александр Вячеславович, студент кафедры «Автоматизированные технологические и информационные системы» филиала ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Стерлитамак, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-6491>, e-mail: ko4enkov.alex@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 30.06.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 19.07.2021.

Статья принята к публикации: 22.07.2021.



Technology of three-dimensional laser scanning as a tool to provide safety for sport facilities

D.A. Gura^{1,2} , D.A. Bespyatchuk¹ , S.V. Samarin^{1*} , N.M. Kiryunikova¹ , E.D. Lesovaya¹

¹ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

² Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

* Corresponding author: e-mail: sierghiei222@mail.ru

ABSTRACT: Introduction. Human safety during sport activities depends mostly on the technical states of sport facilities. According to current legislation, every school and higher education institution with sport facilities must meet nationwide standards for safety requirements. Sports facilities with existing codes and GOSTR are inspected by a special committee, which is required for accreditation, and which has been applied for several decades. This study offers more accurate and up-to-date methods for inspection of these sport facilities, specifically three-dimensional laser scanning. The technology of three-dimensional laser scanning is used mainly to obtain high precision and detailed measurements of any object. The authors analyzed the methods of application of three-dimensional laser scanning to assure human safety during sport activities at schools and higher educational institutions. **Materials and methods.** The objects analyzed were running tracks at the stadium at Kuban State Technological University. The main research method is an empirical one, namely field measurements. Scanning of racetracks was performed with the Leica ScanStation C10 from six stations. After field measurements were taken, point cloud was imported into special software to process the results of the laser scanning by the Leica Cyclone. After measurements were taken, all the critical points of the racetracks were classified by the height. According to existing standards for racetracks at athletic stadiums, the allowable value of roughness is 10 mm. **Results and discussion.** Classification of points revealed that the limit value for roughness of University's racetrack was 9 mm (which meets existing safety requirements for racetracks). Thus, racetracks of Kuban State Technological University underwent the accreditation process performed by the research group from the Department of Cadaster and Geo-Engineering. **Conclusion.** The conclusion of the paper determined that, in fact, laser scanning can be applied to control safety of race tracks.

KEY WORDS: safety of buildings and facilities, sport facility, monitoring and safety support for infrastructural facilities, three-dimensional scanning, SDGs.

ACKNOWLEDGMENT: The research has been conducted under financial support provided by the Russian Fund of Fundamental Research and the Administration of Krasnodar Region of the Russian Federation within the framework of research project № 19-48-233020. Study of the possibility to use three-dimensional scanning to monitor and provide safety of infrastructural facilities in Krasnodar and Krasnodar region. The studies were carried out with the equipment of CCU "Research Center of Food and Chemical Technologies" KubSTU (CKP_3111).

FOR CITATION: Gura D.A., Bespyatchuk D.A., Samarin S.V., Kiryunikova N.M., Lesovaya E.D. Technology of three-dimensional laser scanning as a tool to provide safety for sport facilities. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 259–263. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-259-263.

INTRODUCTION

Physical fitness is an activity aimed at strengthening human health and development of their physical abilities. It has been already proven that physical exercise harmonically develop body and allow improving health for many years to come. Physical fitness comprises a wide

range of exercises and activities, starting from games and sports (football, basketball, volleyball, tennis) and ending with weightlifting. It is obvious that most physical exercises can cause injuries activities, and to participate successfully, physical well-being is needed. One should also note that an important role in the process of physical activity belongs to sport facilities at which a person does participate.

A sports facility is a special open or closed structure in which it is possible to hold training and competition of different sports etc. The quality and the state of such structures strongly affect the safety of a person when training as the negative condition may considerably rise the risk of being injured in a certain degree. Therefore, to monitor the state of such structures is of great importance.

One should mark, the course “Physical Fitness” is an obligatory discipline at schools and higher educational institutions in many countries, including Russia. Today there are about forty thousand schools and seven hundred forty-two universities in our country. According to the Construction Code 278.1325800.2016 “Buildings of higher educational organization. Design codes” and Construction Code 251.1325800.2016 “Buildings of regular educational organizations. Design codes” every higher educational institution and every school must be equipped with sport structures which are safe for physical training. Unfortunately, some of educational institutions, especially schools, take responsibility lightly with respect to these requirements, a fact is proven by the following statistics: in 2020 about 20% of all Russian schools and their facilities need to be renovated. At this, 1.5% of schools in Russia need major repairs, including their sport facilities [3].

As for higher educational institutions, according to Federal State Statistic Service’s data, the condition of almost all sport facilities at universities is sub-standard. Safety of these facilities must be considered as the students’ exercises, when doing sport, are more complex than those of school pupils.

At present, a special committee performs inspection of sport facilities in Russia. Such inspection is periodic and takes place once every several years. For several decades, this approach has been obligatory and a constant method for accreditation of sport objects. This study proposes another, more accurate method to control safety of sport facilities: three-dimensional laser scanning.

Three-dimensional laser scanning is a fieldwork system which measures with high accuracy distances, vertical and horizontal angles. The result of three-dimensional laser scanning is a point cloud, using which different objects are rendered [7]. Three-dimensional laser scanning by the type of applied equipment is classified into three classes: air, which is performed mainly with drone aircraft, ground and mobile [1–2, 6]. Three-dimensional laser scanning is employed in many fields of human activities and quite often is used in:

- Monitoring of deformations in buildings and structures;
- Geotechnical surveys;
- Survey tracking of drill and explosive works;
- Recording of car accidents, crime sites, etc. [9–11].

Laser scanners are also used in construction of sport facilities and structures, but the present work studies the

perspective on the potential of applying laser scanners to monitor the state of racetracks at the athletic stadiums [4–8].

The scope of the study is to analyze the perspective on the potential of applying three-dimensional laser scanning in monitoring to check the state of race tracks at the athletic stadiums.

The tasks of the study:

1. Based on statistic data to analyze the safety level of sport facilities situated at the territory of educational organizations.
2. To investigate existing method of accreditation of sport facilities.
3. To apply laser scanning to a certain sport facility to reveal compliance or incompliance of the given facility characteristics with existing safety codes valid for sport facilities.
4. To make conclusions on the potential of applying three-dimensional laser scanning to provide safety for sport facilities.

METHODS AND MATERIALS

To inspect safety of racetracks, the athletic stadium of Kuban State Technological University (KubSTU), which location is Krasnodar, Moskovskaya str., bld. 2, has been chosen. The photography of it is in Fig. 1.



Fig. 1. The athletic stadium of Kuban State Technological University

Scanning was performed with the laser scanner Leica ScanStation C10. The photography of the scanner is in Fig. 2.

The research group set following parameters when scanning athletic stadium of Kuban State Technological University: discretion 10x10 cm, exposure time 64 sec, resolution 1920x1920 pixels, scanning coverage was 360x270°, scanning process ran from 6 stations. After scanning, point cloud was imported into special software Leica Cyclone to render objects.



Fig. 2. Laser scanner Leica ScanStation C10

RESULTS AND DISCUSSION

Rendered stadium in software Leica Cyclone is in Fig. 3.

Having rendered the stadium, the points of racetrack were classified by height. Each height value was assigned color. An array of points with colors corresponding to their height is presented in Fig. 4.

One should note that colors correspond to the following height values:

- green – 0–2 mm;
- blue – 2–3 mm;
- yellow – 3–5 mm;
- orange – 5–7 mm;
- red – 7–8 mm;
- black – 8–9 mm.

According to GOST R 55529-2013 «Sport facilities. Requirements to safety during sport and training activities.

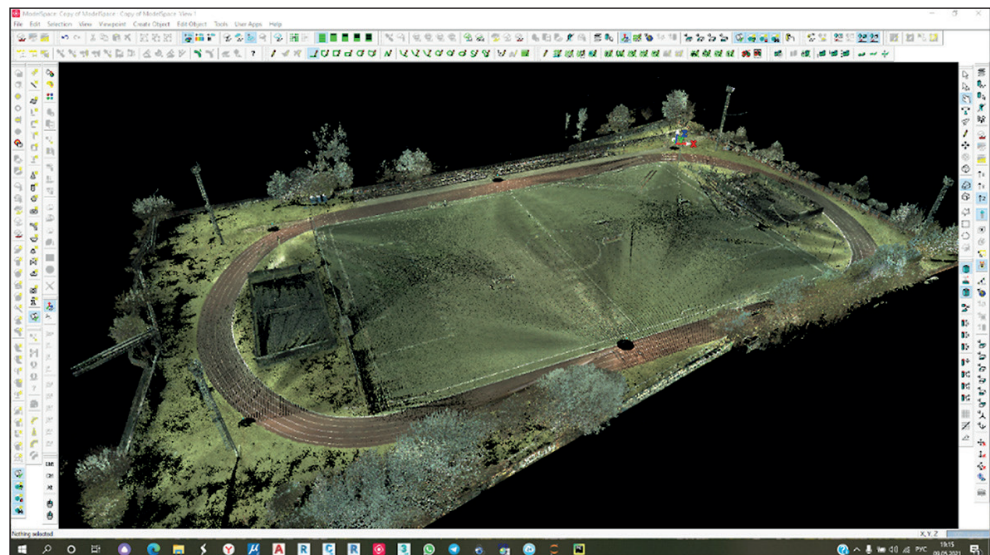


Fig. 3. Point cloud
Processed in software
Leica Cyclone

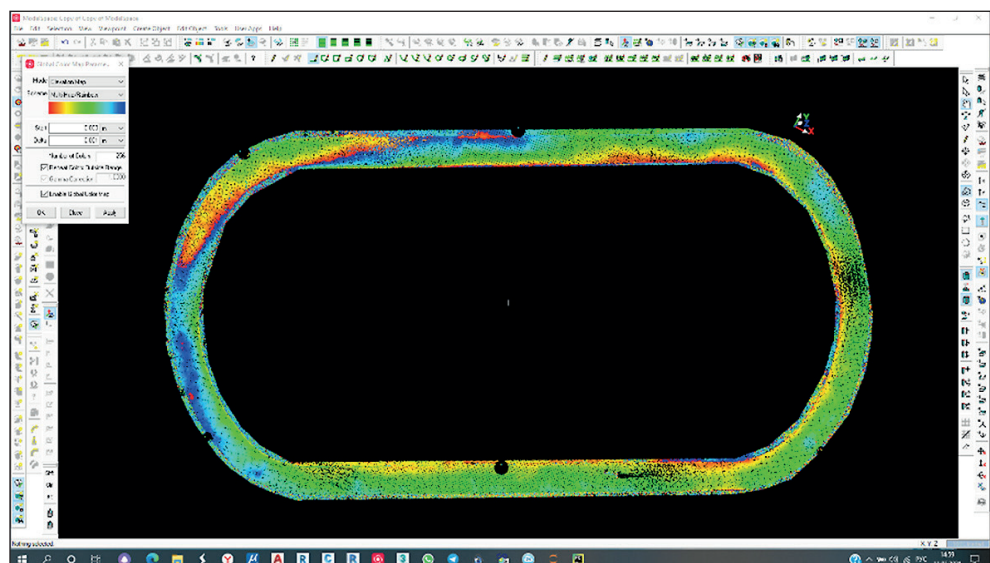


Fig. 4. Rendered
cloud, which points
were classified by the
height in software
Leica Cyclone

Table 1

Comparison of scanning results and requirements of GOST R 55529-2013

Point colour	Value of roughness, mm	If the requirements of GOST R 55529-2013 were met
Green	0–2	YES
Blue	2–3	YES
Yellow	3–5	YES
Orange	5–7	YES
Red	7–8	YES
Black	8–9	YES

Testing methods», the value of roughness on racetracks must not exceed 10 mm. Comparison of the scanning results and mentioned above code is presented in the table 1.

On the basis of information obtained in analysis of scanning results and requirements of the mentioned above code (table 1), one can conclude that the values of roughness found at the KubSTU's stadium meet requirements of GOST R 55529-2013, and thus, this sport facility is considered to be safe for doing physical exercises.

CONCLUSION

This study found that the method used to analyze the state of sport facilities by means of three-dimensional scanning is rather promising and efficient. Scanning makes it possible to perform area survey for different objects with significant rate and to perform huge measurements with high accuracy and descriptiveness within a short time.

This paper considered application of ground laser scanning system as one of the methods to monitor deformations and to control the state of sport facilities; the process to perform field survey at KubSTU's athletic

stadium (as an example) in Krasnodar and processing of data of three-dimensional laser scanning in a special software.

In conclusion, one can mark some advantages of ground laser scanning system:

1. Instant three-dimensional visualization.
2. The technology of work process is easy to understand.
3. High accuracy.
4. Fast data accumulation.
5. Detection of deformations at early stages of object operation.
6. Descriptiveness [9].

The costs of materials used in data collection and modelling of infrastructural objects by means of ground laser scanning in small areas and objects are much higher than those of traditional survey methods. Today the advantages of laser scanning allow avoiding additional expenditures during design and operation stages [10, 11]. Moreover, due to constant technical progress the cost of scanning equipment is expected to decrease, that in near future will make it more applicable even for infrastructural objects of less value.

REFERENCES

1. Gura D.A., Dubenko V.Yu., Buchatsky P.Yu., Markovsky I.G., Husht N.I. Monitoring of complex infrastructure facilities. *The Bulletin of the Adyghe State University. The series "Technical Sciences"*. 2019; 4(251): 74–80.
2. Hashpakyantz N.O., Gribkova I.S. Application of laser scanning in land utilization and cadastre. *Scientific works of the Kuban State Technological University*. 2017; 9: 27–35.
3. Gura D., Samarin S., Bespiatchuk D., Khusht N., Pshidatok S. Sustainable development of society and a city based on safe infrastructure facilities. In: *E3S Web of Conferences: 1, Yekaterinburg, 28–29 September 2020, Yekaterinburg*. 2020. p. 06018. Available from: doi: 10.1051/e3sconf/202020806018.
4. Koch C., Georgieva K., Kasireddy V., Akinci B., Fieguth P. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure. *Advanced Engineering Informatics*. 2015; 29(2): 196–210.

5. Emelyanov M.V. Information technology to design monitoring systems for buildings and facilities. *The Bulletin of the Dagestan State University. The series "Technical Sciences"*. 2019; 46(1): 123–131.
6. Diachenko R.A., Gura D.A., Bespyatchuk D.A., Samarin S.V., Kosolapov P.A. Analysis of software for evaluation of laser scanning results In: *Scientific readings named after professor Zhukovsky N.E.: Proceedings of scientific papers of the XI International Scientific and Practical Conference. Krasnodar, 23–24 December 2020*. Krasnodar: LLC "Publishing House - Yug", 2021. p. 485–493.
7. Gura D., Husht N., Markovsky I. *The principles of monitoring for transport facilities*. Krasnodar: Kuban State Technological University, 2021.
8. Gura D.A., Kiryunikova N.M., Lesovaya E.D., Husht N.I., Pavlyukova A.P. A system to monitor state of infrastructural facilities. *The Bulletin of the Dagestan State University. The series "Technical Sciences"*. 2020; 47(3): 49–59.
9. Sidorenko Yu.A., Tsvetkova N.Yu. The problems of monitoring of transport facilities state. *Interactive Science*. 2016; 2: 151–154.
10. Deryugin P.V., Bogacheva L.A. The perspective development of the systems aimed at diagnostics, monitoring and service for transport facilities. In: *Proceedings of the IV International Student Scientific and Practical Conference*. 2016; 14–16.
11. Gribkova I.S., Lesovaya E.D., Kiryunikova N.M., Tyupenkova G.E., Gura D.A. Geoinformation systems as an aspect of providing conditions for barrierless tourism and adaptive sport activities for disabled people. *Adaptive Physical Culture*. 2020; 84(4): 44–47.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry A. Gura, Assistant Professor of Cadastre and Geoengineering Department, Kuban State Technological University; Assistant Professor of Geodesy Department, Kuban State Agrarian University; Krasnodar, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>, e-mail: gda-kuban@mail.ru

Daria A. Bespyatchuk, Training Master of Cadastre and Geoengineering Department, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6711-385X>, e-mail: dbespyatchuk99@mail.ru

Sergey V. Samarin, Training Master of Cadastre and Geoengineering Department, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5431-7351>, e-mail: sierghiei222@mail.ru

Nadezhda M. Kiryunikova, Engineer of Cadastre and Geoengineering Department, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8020-768X>, e-mail: kiryunikovaa2001@yandex.ru

Elina D. Lesovaya, Engineer of Cadastre and Geoengineering Department, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4383-4828>, e-mail: elyaaa_129102000@mail.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 29.06.2021.

Revised: 21.07.2021.

Accepted: 23.07.2021.



Технология трехмерного лазерного сканирования как средство обеспечения безопасности объектов спортивной инфраструктуры

Д.А. Гура^{1,2} , Д.А. Беспятчук¹ , С.В. Самарин^{1*} , Н.М. Кирюникова¹ , Э.Д. Лесовая¹

¹ Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

² Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Россия

*Контакты: e-mail: sierghiei222@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Безопасность человека во время занятий физической культурой, в первую очередь, зависит от технического состояния спортивных объектов. Согласно действующему законодательству, каждая школа и каждое высшее учебное заведение обязаны обладать спортивными сооружениями, которые должны отвечать нормативам безопасности, действующим на территории страны. В настоящее время проверку спортивных сооружений на соответствие действующим нормативам и ГОСТам осуществляет специализированная комиссия, что является обязательным и неизменным в течение нескольких десятилетий методом аккредитации спортивных объектов. В данном исследовании предлагается применение другого и более точного и современного способа проверки безопасности спортивных сооружений – трехмерное лазерное сканирование. Технология трехмерного лазерного сканирования в основном применяется для получения высокоточных и подробных измерений любого объекта. В данном исследовании анализируются перспективы применения трехмерного лазерного сканирования для обеспечения безопасности людей при их занятии физической культурой на спортивных сооружениях школ и высших учебных заведений. **Материалы и методы.** В качестве такого анализа объектом выступили беговые дорожки легкоатлетического стадиона Кубанского государственного технологического университета. Основной метод исследования – эмпирический, а именно проведение полевых измерений. Сканирование беговых дорожек проводилось прибором «Leica ScanStation C10» с 6 станций, и после проведения полевых работ облако точек было загружено в специализированное программное обеспечение для обработки результатов лазерного сканирования «Leica Cyclone». После отрисовки необходимых объектов все точки беговых дорожек классифицировали по высоте. Согласно действующим нормативам для беговых дорожек на легкоатлетическом стадионе, допустимая величина неровностей составляет 10 мм. **Результаты и обсуждение.** В результате классификации точек выявлено, что максимальная величина неровностей беговой дорожки вуза составила 9 мм, что отвечает действующим нормативам безопасности для беговых дорожек. Тем самым беговые дорожки Кубанского государственного технологического университета прошли аккредитацию, которая проведена научно-исследовательской группой кафедры кадастра и геоинженерии. **Заключение.** В заключение статьи обосновано, что лазерное сканирование действительно может быть применимо для проверки безопасности беговых дорожек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность зданий и сооружений, спортивное сооружение, мониторинг и обеспечение безопасности инфраструктурных объектов, трехмерное лазерное сканирование, SDGs.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края Российской Федерации в рамках научного проекта № 19-48-233020 «Исследование возможности использования комплекса трехмерного лазерного сканирования для мониторинга и обеспечения безопасности инфраструктурных объектов в городе Краснодаре и Краснодарском крае». Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» КубГТУ (СКР_3111).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гура Д.А., Беспятчук Д.А., Самарин С.В., Кирюникова Н.М., Лесовая Э.Д. Технология трехмерного лазерного сканирования как средство обеспечения безопасности объектов спортивной инфраструктуры // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 4. – С. 259–263. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-259-263.

ВВЕДЕНИЕ

Физическая культура представляет собой деятельность, направленную на укрепление здоровья людей и развитие их физических способностей. Уже давно доказано, что физические упражнения гармонично развивают организм и позволяют укрепить здоровье человека на многие годы. Физическая культура включает в себя широкий спектр упражнений и занятий, начиная от игровых видов спорта (футбол, баскетбол, волейбол, теннис и т.д.) и заканчивая тяжелой атлетикой. Очевидно, что физические упражнения в большинстве своем являются травмоопасными занятиями, и для выполнения их у человека должна быть достаточно хорошая физическая подготовка. Но также необходимо подчеркнуть, что немаловажную роль при выполнении упражнений играют спортивные сооружения, на которых человек непосредственно занимается физической культурой.

Спортивное сооружение представляет собой специальный объект крытого или открытого типа, которое обеспечивает проведение учебно-тренировочных занятий, соревнований по различным видам спорта и т.д. Качество и состояние таких сооружений сильно влияет на безопасность человека при выполнении физических упражнений, ведь негативное состояние этих параметров может существенно увеличить вероятность получения травм различной степени тяжести. Поэтому очень важно следить за состоянием таких сооружений.

Следует отметить, что дисциплина «Физическая культура» является обязательной в школах и в высших учебных заведениях многих стран мира, в том числе и в России. В настоящее время на территории страны функционируют около 40000 тыс. школ и 742 вуза. Согласно СП 278.1325800.2016 «Здания образовательных организаций высшего образования. Правила проектирования» и СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования» каждое высшее образовательное учреждение и каждая школа должны быть обеспечены спортивными объектами, которые обязаны позволять безопасно проводить спортивные занятия. Но, к сожалению, некоторые учебные заведения, особенно школы, относятся достаточно халатно к таким требованиям, чему свидетельствует официальная статистика Росстата: по состоянию на 2020 год около 20% от общего количества школ России требуют косметический ремонт объектов, расположенных на территории школы, в том числе спортивных сооружений. В свою очередь, 1,5% школ в России требуют капитального ремонта, в том числе спортивных сооружений таких школ [3].

Что касается высших учебных сооружений, то, по данным Росстата, практически во всех вузах спор-

тивные объекты в надлежащем состоянии, но при этом необходимо дальше анализировать безопасность спортсооружений на территории вузов, поскольку студенты при занятии физической культурой выполняют более сложные упражнения, чем учащиеся школ.

В настоящее время проверка состояния спортивных учреждений в России осуществляется специализированной комиссией. Такая проверка является периодической и проходит раз в несколько лет. Данный метод является обязательным и неизменным в течение нескольких десятилетий способом аккредитации спортивных объектов. В данном исследовании предлагается применение другого более современного способа проверки безопасности спортивных сооружений – трехмерное лазерное сканирование.

Трехмерное лазерное сканирование – это съемочная система, которая измеряет с высокой скоростью расстояния, вертикальные и горизонтальные углы. Результатом трехмерного лазерного сканирования является облако точек, по которому в дальнейшем отрисовываются различные объекты [7]. Лазерное сканирование по типу применяемого оборудования подразделяется на воздушное, которое в основном выполняется при помощи беспилотных летательных аппаратов, наземное и мобильное [1,2,6]. Лазерное сканирование нашло свое место во многих отраслях деятельности человека, и чаще всего данная технология применяется в следующих сферах деятельности:

- Мониторинг деформаций зданий и сооружений;
- Инженерно-геодезические изыскания;
- Маркшейдерское сопровождение буровых и взрывных работ;
- Фиксация ДТП, мест преступлений и т.д. [9–11].

Лазерные сканеры также применяются при строительстве спорткомплексов и сооружений, но в данной научной работе будут исследоваться перспективы применения лазерных сканеров для мониторинга состояния беговых дорожек на спортивных стадионах [4–8].

Цель исследования – проанализировать перспективы применения трехмерного лазерного сканирования при мониторинге безопасности беговых дорожек на спортивных легкоатлетических стадионах.

Задачи исследования:

1. Проанализировать на основе статистических данных уровень безопасности спортивных сооружений, находящихся на территории образовательных учреждений;
2. Исследовать существующие методы аккредитации спортивных сооружений;
3. Применить лазерное сканирование на конкретном спортивном сооружении для выявления соответствия или несоответствия характеристик данного сооружения существующим нормативам безопасности для спортивных объектов;



Рис. 1. Легкоатлетический стадион Кубанского государственного технологического университета

4. Сделать выводы о перспективах применения лазерного сканирования для обеспечения безопасности спортивных сооружений.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для проверки безопасности беговых дорожек был выбран легкоатлетический стадион Кубанского государственного технологического университета (КубГТУ), находящийся по адресу: г. Краснодар, ул. Московская, д. 2. Фотография стадиона представлена на рис. 1.

Сканирование проводилось лазерным сканером «Leica ScanStation C10». Фотография используемого сканера представлена на рис. 2.

При сканировании стадиона Кубанского государственного технологического университета научно-исследовательской группой была задана дискретность 10x10 см, выдержка – 64 с., разрешение



Рис. 2. Лазерный сканер «Leica ScanStation C10»

1920x1920 пикселей, область охвата сканирования составляла 360x270°, сканирование производилось с 6 станций. После проведения сканирования облако точек было загружено в программное обеспечение «Leica Cyclone» для дальнейшей отрисовки объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отрисованный стадион в ПО «Leica Cyclone» представлен на рис. 3.

После отрисовки стадиона была произведена классификация точек беговой дорожки стадиона по высоте. Каждому значению высоты присваивалась определенная цветовая гамма. Массив точек с цветами, отражающими их высоту, представлен на рис. 4.

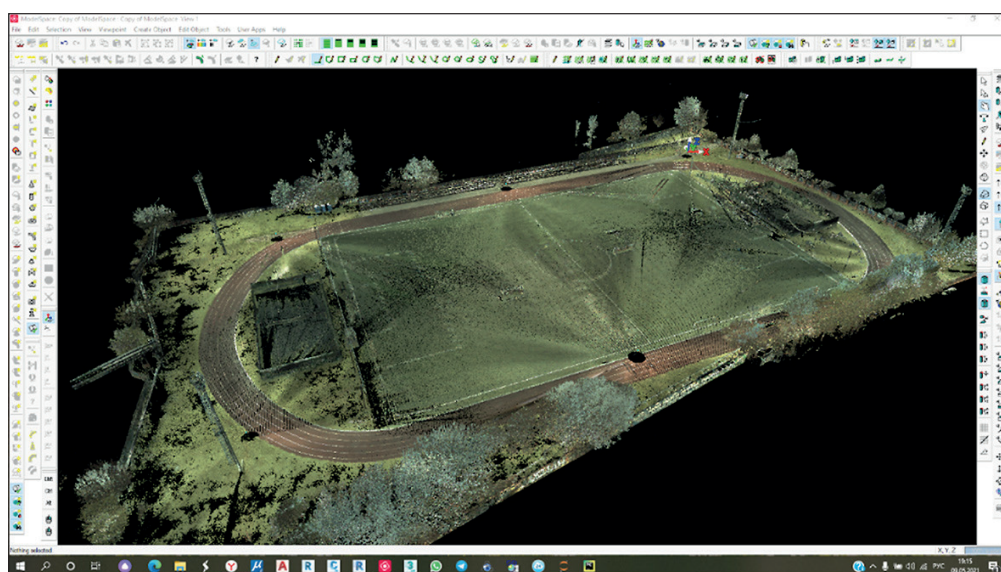


Рис. 3. Обработанное облако точек в ПО Leica Cyclone

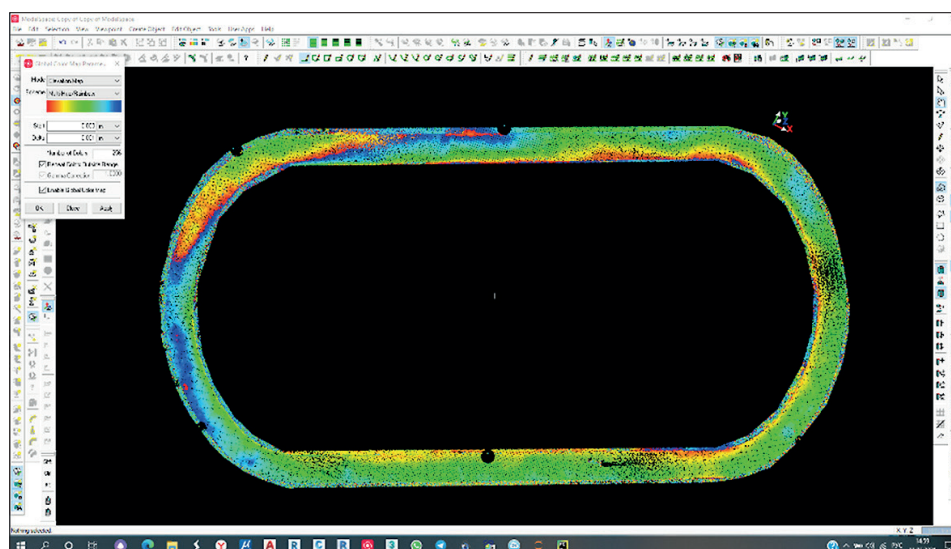


Рис. 4. Отрисованное облако, точки которого были классифицированы по высоте в ПО «Leica Cyclone»

Следует отметить, что цвета отражают следующие значения высоты:

- зеленый — 0–2 мм;
- синий — 2–3 мм;
- желтый — 3–5 мм;
- оранжевый — 5–7 мм;
- красный — 7–8 мм;
- черный — 8–9 мм.

Согласно ГОСТ Р 55529-2013 «Объекты спорта. Требования безопасности при проведении спортивных и физкультурных мероприятий. Методы испытаний» значение неровностей на беговых дорожках легкоатлетического стадиона должно быть не более 10 мм. Сравнение результатов сканирования с вышеуказанным нормативным документом представлено в табл. 1.

Исходя из информации, полученной после анализа результатов сканирования и требований ранее указанного нормативного документа (табл. 1), следует сделать вывод, что значения неровностей, найденных на легкоатлетическом стадионе КубГТУ, соответствуют ГОСТ Р 55529-2013, и тем самым данный

спортивный объект позволяет безопасно заниматься физическими упражнениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование позволяет сделать вывод, что метод анализа состояния объектов спортивной инфраструктуры с помощью трехмерного лазерного наземного сканирования является достаточно перспективным и эффективным. Сканирование делает возможной сплошную съемку различных объектов со значительной скоростью и позволяет за малое время осуществлять значительный объем измерений с высокой точностью и информативностью.

В данной статье рассмотрены использование системы наземного лазерного сканирования как одного из методов наблюдения за деформациями с целью контроля состояния объектов спортивной инфраструктуры, процесс проведения полевой съемки на примере легкоатлетического стадиона Кубанского государственного технологического университета

Таблица 1

Сравнение результатов сканирования с требованиями ГОСТ Р 55529-2013

Цвет точек	Величина неровностей, мм	Соблюдены ли требования ГОСТ Р 55529-2013
Зеленый	0–2	да
Синий	2–3	да
Желтый	3–5	да
Оранжевый	5–7	да
Красный	7–8	да
Черный	8–9	да

в г. Краснодаре и выполнение обработки данных трехмерного лазерного сканирования в специализированном программном обеспечении.

В заключение можно отметить несколько преимуществ системы наземного лазерного сканирования:

1. Мгновенная трехмерная визуализация.
2. Технология процесса выполнения работ интуитивно понятна.
3. Высокая точность.
4. Быстрый сбор данных.
5. Выявление деформаций на ранних стадиях эксплуатации объекта.
6. Информативность [9].

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объектов инфраструктуры методами наземного лазерного сканирования на небольших участках и объектах значительно превышают классические методы съемки. На сегодняшний день преимущества лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования и эксплуатации объектов инфраструктуры [10, 11]. Более того, ввиду постоянного развития научно-технического прогресса ожидается снижение стоимости оборудования для сканирования, что в ближайшие годы сделает его более применимым даже для менее значимых инфраструктурных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гура Д.А., Дубенко В.Ю., Бучацкий П.Ю., Марковский И.Г., Хушт Н.И. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры // Вестник Адыгейского государственного университета. Раздел «Технические науки». Выпуск 4 (251) 2019.
2. Хашпакаев Н.О., Грибкова И.С. Применение лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2017. № 9. С. 27–35.
3. D. Gura, S. Samarin, D. Bespiatchuk, N. Khush, S. Pshidatok /Sustainable development of society and a city based on safe infrastructure facilities // E3S Web of Conferences : 1, Yekaterinburg, 28–29 сентября 2020 года. — Yekaterinburg, 2020. — P. 06018. — DOI: [10.1051/e3sconf/202020806018](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020806018).
4. C. Koch, K. Georgieva, V. Kasireddy, B. Akinci, P. Fieguth / A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure // Advanced Engineering Informatics. 2015. Vol. 29, No. 2. P. 196–210.
5. Емельянов М.В. Информационная технология проектирования систем мониторинга зданий и сооружений // Вестник Дагестанского государственного технологического университета. Технические науки. — 2019. — Т. 46, № 1. — С. 123–131.
6. Р.А. Дьяченко, Д.А. Гура, Д.А. Беспятчук С.В. Самарин, П.А. Косолапов / Анализ программного обеспечения для обработки результатов лазерного сканирования // Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского: Сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Краснодар, 23–24 декабря 2020 года. — Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом — Юг», 2021. — С. 485–493.
7. Гура, Д. Основы мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / Д. Гура, Н. Хушт, И. Марковский. — Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2021. — 159 с. — ISBN 978-5-8333-0971-1.
8. Гура Д.А., Кирюникова Н.М., Лесовая Э.Д., Хушт Н.И., Павлюкова А.П. // Система наблюдений за состоянием объектов инфраструктуры // Вестник Дагестанского государственного технического университета, 2020. Т. 47. № 3. — С. 49–59.
9. Сидоренко Ю.А., Цветкова Н.Ю. Проблемы мониторинга состояния объектов транспортной инфраструктуры // Интерактивная наука. — 2016. — № 2. — С. 151–154.
10. Дерюгин П.В. Богачёва Л.А. Перспективное развитие систем диагностики, мониторинга и обслуживания объектов транспортной инфраструктуры // Материалы IV Международной студенческой научно-практической конференции. — 2016. — С. 14–16.
11. Грибкова И.С., Лесовая Э.Д., Кирюникова Н.М., Тюпёнькова Г.Е., Гура Д.А. Геоинформационная система как аспект создания условий для безбарьерного туризма и занятий адаптивным спортом для людей с ограниченными возможностями здоровья. Адаптивная физическая культура. 2020. Т. 84. № 4. С. 44–47.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гура Дмитрий Андреевич, доцент кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет; доцент кафедры геодезии, Кубанский государственный аграрный университет; г. Краснодар, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>, e-mail: gda-kuban@mail.ru

Беспятчук Дарья Андреевна, учебный мастер кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6711-385X>, e-mail: dbespyatchuk99@mail.ru

Самарин Сергей Владимирович, учебный мастер кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5431-7351>, e-mail: sierghiei222@mail.ru

Кирюникова Надежда Максимовна, инженер кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8020-768X>, e-mail: kiryunikovaa2001@yandex.ru

Лесовая Элина Дмитриевна, инженер кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4383-4828>, e-mail: elyaaa_l29102000@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 29.06.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 21.07.2021.

Статья принята к публикации: 23.07.2021.

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-plagerism 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 futures 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 activities, 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](#)), Великобритании, [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-го 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 самостоятельно 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 Авторы.
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 отзыв 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 редколлекцией 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, редколлекции, 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 редколлекции 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 редколлекции 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 воспроизводимости

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 воспроизводимости 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 редколлегии, организовав немедленное уведомление автора о необходимости внесения поправок или отзыва публикации, в зависимости от ситуации.

Заемствования и плагиат

Редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы [Антиплагиат](#). В случае обнаружения многочисленных заимствований 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, путём 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 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 устранению 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 CC-BY «Attribution»; 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), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here <http://creativecommons.ru/>.

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 include 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 papers; reviews; discussing materials, comments, other information materials.

The structure of the paper

Article type (In English)

Title (In English)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In English) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

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)

KEYWORDS: (In English)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In English)

FOR CITATION: (In English)

Text of the paper: (In English, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In English)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In English)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Article type (In Russian)

Title (In Russian)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In Russian) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

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)

KEYWORDS: (In Russian)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In Russian)

FOR CITATION: (In Russian)

Text of the paper: (In Russian, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In Russian)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

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 burred 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.

References to non-Russian language articles:

Surname Intials, Surname Intials Article title. Name of journal. Year, Volume (Number): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Example: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

References to non-Russian language monographs:

With 1–3 authors:

Surname initials, Surname initials. Book title. Number of reprinting. City: Publisher; The year of publishing.

Indication to the editor or compiler:

Surname initials. Surname initials. Surname initials, editors. Title. Number of reprinting. City: Publisher; Year of publishing.

Example: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Journal title and the title of monographs and collections are written in italics. After the initials a period (.) is used. Between the author's name and initials no comma is used.

Reference to Russian language sources:

Example: Lindorf L.S., Mamikonians L.G. Operation of turbine-generator with direct cooling. Moscow: Energia; 1972. (In Russ.)

References to internet sources:

The name of the material on the site [site]. Name of the site; year [updated: date of update; date of citation]. Available: link to the site.

Note: preferably indicate a link to the material from the site, which is mentioned in the article. A link to your homepage is not informative and does not allow for verification of the information.

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 form (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;
- сопроводительное письмо (редакция высылает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь <http://creativecommons.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 nanoиндустрии
- 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 nanoиндустрии.

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 нанопокрывом; 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: оригинальные статьи; обзоры; дискуссионные материалы, комментарии, другие информационные материалы.

Структура статьи

Тип статьи (на английском языке)

Заглавие (на английском языке)

Автор(ы) (на английском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным 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 and Discussion), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на английском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на английском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на английском языке)

Статья (на английском языке, объем – 3–6 тыс. слов):

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**
- **РЕЗУЛЬТАТЫ**
- **ОБСУЖДЕНИЕ**
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на английском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на английском языке)

Имя, отчество (при наличии), фамилия, ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УДК

Тип статьи (на русском языке)

Заглавие (на русском языке)

Автор(ы) (на русском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке) (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным 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 – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на русском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на русском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на русском языке)

Статья (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов)

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

- РЕЗУЛЬТАТЫ
- ОБСУЖДЕНИЕ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на русском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на русском языке)

Фамилия, имя, отчество (при наличии), ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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 отсылка 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 (отсылка в тексте в квадратных скобках, полное библиографическое описание источника в списке литературы в порядке упоминания в тексте статьи).

Список литературы

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.

Ссылки на статьи из иностранных источников:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи. Название журнала. Год; Том (Номер): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Пример: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophilic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

Ссылки на монографии на иностранном языке:

С 1–3 авторами:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название книги. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Указание на редактора или составителя:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О., ³Фамилия И.О., редакторы. Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Пример: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Глава из монографии или сборника:

¹Фамилия И.О. ¹Название. В: ²Фамилия И.О., редактор. ²Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Название журнала и название монографий и сборников выделяется курсивом, после инициалов ставятся точки. Между фамилией автора и инициалами запятая не ставится.

Ссылки на статьи на русском языке

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. – Год. – Том (Номер):00-00. [¹Familia I.O., ²Familia I.O. Перевод названия статьи. Транслит названия журнала/Официальное название на английском языке. Год; Том (Номер):00-00. (In Russ.)]]

Пример: Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – 9 (1): 88–106. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.

[Ivanov L.A., Muminova S.R. Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1. Nanotechnologies in Construction. 2017; 9 (1): 88–106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106. (In Russian)]

Ссылки на монографии на русском языке:

¹Фамилия И.О. Название монографии. – Город: Издательство, год. – 000 с. [¹Familia I.O. Перевод названия монографии. Gorod: Izdatelstvo; god. (In Russ.)]

Пример: Линдорф Л.С., Мамикониантс Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – М.: Энергия, 1972. – 352с.

Ссылки на интернет-ресурсы:

Название сайта [Электронный ресурс] – URL. – (дата обращения).

Примечание: предпочтительно указывать ссылку на материал с сайта, который упоминается в статье. Ссылка на главную страницу не информативна и не дает возможность проверить информацию.

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 договорённости, 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 большому 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 предоставлены другим лицам и организациям.