

IN THE ISSUE:

В HOMEP:

- Aspects of determining the aggregative stability of water suspensions of mineral powders for building composites
- Synthesis of life support nanotechnologies into a replicable autonomous engineering system of an individual dwelling house
- High-strength wall ceramics based on phosphorus slag and bentonite clay
- Prescription and technological efficiency of sedimentary rocks of various composition and genesis in cement systems
- Аспекты определения агрегативной стабильности водных суспензий минеральных порошков для строительных композитов
- Синтез нанотехнологий жизнеобеспечения в тиражируемую автономную инженерную систему индивидуального жилого дома
- Высокопрочная стеновая керамика на основе фосфорного шлака и бентонитовой глины
- Рецептурно-технологическая эффективность осадочных пород различного состава и генезиса в цементных системах

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, Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

Leonid A. IVANOV, Cand. Sci. (Eng.), Russian Academy of Engineering, International Academy of Engineering, Center for New Technologies «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 № 1 (Vol. 14) is 18.02.2022

ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



**INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING**



**WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)**

CONTENTS

PUBLISHER INFORMATION	2
MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
<i>Frolova M.A.</i> Aspects of determining the aggregative stability of water suspensions of mineral powders for building composites	5
APPLICATION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION	
<i>Suleimenov Zh.T., Sagyndykov A.A., Moldamuratov Zh.N., Bayaliyeva G.M., Alimbayeva Zh.B.</i> High-strength wall ceramics based on phosphorus slag and bentonite clay	11
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
<i>Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Borisova O.N.</i> Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part I	18
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology	27
PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY IN CONSTRUCTION	
<i>Belozerov V.V., Voroshilov I.V., Oleinikov S.N., Belozerov V.I.V.</i> Synthesis of life support nanotechnologies into a replicated autonomous engineering system of an individual dwelling house	33
SYSTEM SOLUTIONS FOR TECHNOLOGICAL PROBLEMS	
<i>Peng Dong, Jingyi Liu, Huiru Wang, Hongyan Yuan, Quan Wang.</i> Sustainable municipal solid waste incineration fly ash (MSWIFA) alkali-activated materials in construction: fabrication and performance	43
THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES	
<i>Balykov A.S., Nizina T.A., Kyashkin V.M., Volodin S.V.</i> Prescription and technological efficiency of sedimentary rocks of various composition and genesis in cement systems	53
RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES	
<i>Muravieva E.A., Kulakova E.S.</i> Overview of the instrumental base for the control of greenhouse gases	62
PUBLISHING ETHICS	70
AUTHOR GUIDELINES	74

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-гельевый 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, Департамент анализа данных и машинного обучения, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

ФИГОВСКИЙ Олег Львович, д-р техн. наук, Израильский исследовательский центр Polymate, Nanotech Industries, Inc., г. Дейли-Сити, Калифорния, США; г. 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 № 1, Том 14, 2022: 18.02.2022 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	2
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	
Фролова М.А. Аспекты определения агрегативной стабильности водных суспензий минеральных порошков для строительных композитов	5
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
Сулейменов Ж.Т., Сагындыков А.А., Молдамуратов Ж.Н., Баялиева Г.М., Алимбаева Ж.Б. Высокопрочная стеновая керамика на основе фосфорного шлака и бентонитовой глины.....	11
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Борисова О.Н. Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть I	18
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский технологический университет	27
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Олейников С.Н., Белозеров Вл.В. Синтез нанотехнологий жизнеобеспечения в тиражируемую автономную инженерную систему индивидуального жилого дома	33
СИСТЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ	
Пханг Донг, Дзинги Лиу, Хуэйру Ван, Хонгуэн Юэн, Цюэн Ван. Получение и свойства экологичных, активированных щелочью строительных материалов на основе золы-уноса, полученной сжиганием твердых бытовых отходов	43
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
Балыков А.С., Низина Т.А., Кяшкин В.М., Володин С.В. Рецептурно-технологическая эффективность осадочных пород различного состава и генезиса в цементных системах	53
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Муравьева Е.А., Кулакова Е.С. Обзор приборной базы по контролю парниковых газов	62
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	70
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	74

Aspects of Determining the Aggregative Stability of Water Suspensions of Mineral Powders for Building Composites

Maria A. Frolova 

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

Corresponding author: e-mail: m.aizenstadt@narfu.ru

ABSTRACT: Introduction. When using water suspensions of finely dispersed mineral systems of natural and anthropogenic origins as active agents in the production of concrete composites, an important factor in their effective use is to ensure the aggregative and sedimentation stability of solid phase particles before adding the solid phase into the reaction mixture. **Methods and materials.** The paper provides an algorithm for quantifying stability criteria according to the DLVO theory provisions as exemplified by a suspension of fine polymineral sand powder from the Kholmogorskoye deposit in the Arkhangelsk region (average particle size is 195 nm). In order to successfully assess the aggregative stability of this colloidal system, it is necessary to conduct experiments for determining the analogue value of the Hamaker constant, which was $0.5 \cdot 10^{-20}$ J for the mineral sand studied, in addition to experiments for determining the zeta potential of particles. This paper presents the results of the analysis according to the criteria of the value of the interaction energy (U_{int}) and the sedimentation rate (V_{sed}) of a polymineral sand dispersed system (water suspension) calculated taking into account the analogue value of the Hamaker constant, zeta potential and dimensional characteristics of its solid phase particles, physicochemical properties of the dispersion medium. **Results and discussion.** It is shown that the determining factor of the aggregative stability of the suspension is the electrostatic barrier for particle interaction. Theoretical calculation showed that the aggregative stability of the system may be affected by its particles reaching their zeta potential of approximately 10^{-4} mV (a nearly isoelectric state). It is proposed to use the kinetic parameter of sedimentation – its velocity – to assess the kinetic (sedimentation) stability of this suspension – resistance to gravity, i.e. the ability to resist the dispersed system stratification due to the difference in particle densities between the dispersed phase and dispersion medium. **Conclusion.** The sedimentation rate is $V_{sed} \approx 4$ nm/sec for the object under study in water dispersion medium with the averaged dimensional characteristics of 195 nm. At such a rate of solid phase particle precipitation, a dispersed system based on finely crushed polymineral sand from the Kholmogorskoye deposit can be considered sedimentatively stable.

KEYWORDS: concrete composite, aggregative and sedimentation stability, analogue value of the Hamaker constant, sedimentation rate.

ACKNOWLEDGEMENTS: The research was carried out at the unique scientific equipment "Physical Chemistry of Nanodisperse System Surfaces" and funded by Russian Science Foundation Grant No. 22-23-00047.

FOR CITATION: Frolova M.A. Aspects of determining the aggregative stability of water suspensions of mineral powders for building composites. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 5–10. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-5-10>.

INTRODUCTION

Currently, processing methods associated with the use of pre-activated highly dispersed systems as additives have become widespread in the concrete composite production industry. In this case, a fairly wide range of materials of natural (mainly rocks of various genesis) and anthropogenic (fly ash, waste concrete scrap, etc.) origin is used as raw materials [1–3]. However, the introduction of such additives, the content of which in the cement-sand mixture

usually does not exceed 10%, is associated with certain process difficulties of their uniform distribution over the entire composite volume. This problem is solved quite simply by introducing highly dispersed systems into the reaction mixture in the form of suspensions where mixing water is a dispersion medium. However, in this case it is necessary to solve the problem of providing the aggregative stability of solid phase particles in mineral suspensions. The simplest method in this case is to introduce additional surfactants of different nature into the colloidal solution. The consequence of this method is

an inevitable decrease in the activity of highly dispersed particles due to the formation of stabilizing surface layers of surfactants. The intensity of interactions at the interface leads to the formation of a “film phase” of the matrix material (mineral particles) with the properties that differ from the matrix ones [4]. Therefore, the state of bordering surface layers formed on the dispersed phase particles is critical for aggregatively stable colloidal systems [5–7]. A modern theory of colloidal stability (DLVO theory) has been developed based on the concepts of surface forces and disjoining pressure in thin films evolved by B.V. Deryagin [8]. This theory is based on the energy balance of forces manifested between the dispersed system particles spontaneously moving close to each other. Thus, repulsive forces (F_{rep}) of electrostatic nature arise in an aggregatively stable system when the surface layers of converged particles of the same nature overlap. The dispersed system is aggregatively stable with a sufficient value of the energy repulsion barrier. In this case, the convergence of particles to a distance where attractive forces (F_{att}) prevail is impossible.

From the point of view of colloidal chemistry [9], the surface of highly dispersed particles distributed in a liquid carries a certain charge, due to which an electrical double layer (EDL) is formed. According to the DLVO theory, the presence of the EDL on the surface of particles creates an electrostatic repulsion barrier ensuring the stability of dilute colloidal systems.

The value of the interaction energy (U_{int}) between two particles of a dispersed system is calculated using the potential dependences of this total energy value on the distance between the particles in the area where their surface layers overlap (h), which does not exceed 20 nm. Then

$$U_{\text{int}} = U_{\text{rep}} - U_{\text{att}}, \quad (1)$$

where U_{rep} and U_{att} are the energies of repulsion and attraction, respectively.

The dispersed system is aggregatively unstable at $U_{\text{int}} < 0$, and stable at $U_{\text{int}} > 0$. In turn, the DLVO theory [8, 9] provides the following equations for calculating the energy of attraction and repulsion between interacting particles:

$$U_{\text{rep}} = 2\pi\epsilon\epsilon_0\varphi^2 r \ln(1 + e^{\vartheta h}), \quad (2)$$

$$U_{\text{att}} = \frac{Ar}{12h}, \quad (3)$$

where r is the radius of particles; φ is the surface potential (numerically equal to ζ potential); v is the inverse of the surface layer thickness ($v = 1/\lambda$),

$$\vartheta = \left(\frac{2F^2I}{\epsilon\epsilon_0RT}\right)^{1/2}, \quad (4)$$

I is the ionic strength of the solution, $I = \frac{1}{2} \sum (c_i z_i^2)$, c_i is the concentration of ions in the solution, z_i is the ion charge value;

F is the Faraday's constant, $F = 9.65 \cdot 10^4$ C/mol;

R is the universal gas constant, $R = 8.31$ J/(mol·K);

ϵ is the dispersion medium permittivity, F/m;

ϵ_0 is the vacuum permittivity, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m;

A – complex constant of molecular interaction forces (Hamaker constant).

Therefore, based on equations (2), (3) and (4), the sign of the dispersed system U_{rep} will be determined by the nature of its constituent components. Thus, the nature of the dispersed phase is determined by the value of the A constant, and the dispersion medium is determined by the value of the I characteristic. The dependent variable associated with the nature of the dispersed phase and the dispersion medium is the value of the electrokinetic potential (ζ). The modern instrumental base of physico-chemical analysis methods makes it quite easy to solve the problem of zeta potential quantification, e.g. when measuring the rate of particle electrophoresis. In addition, when calculating the energy characteristics of mineral particle interaction in the water dispersion medium only (without the addition of electrolytes that change e.g. the system pH), it is possible to simplify the U_{rep} calculation scheme by assuming $I \approx 0$. Then we will obtain the following equation for 20 °C:

$$U_{\text{rep}} = (31.05 \cdot 10^{-10} \varphi^2 - \frac{A}{12h}) \cdot r. \quad (5)$$

At the same time, it is known that the dispersion medium pH can significantly change the ζ potential value, up to the recharge of the particle surface. In this case, the aggregative stability characteristics of the dispersed system according to the U_{int} criterion will need to be calculated taking into account changes in the solution ionic strength values:

$$U_{\text{int}} = 2\pi\epsilon\epsilon_0\varphi^2 r \ln(1 + e^{\vartheta h}) - \frac{Ar}{12h}. \quad (6)$$

The key element of this approach to the aggregative stability assessment of dispersed systems consists in determining the Hamaker constant value (A). The A value for some substances (and systems) can be found in the reference literature [10–13]. However, the developed theoretical provisions of the physicochemistry of surface phenomena [14] allowed us to apply the Hamaker constant calculation method based on determining the equilibrium contact angle (θ) of the analyzed material surface wetting with liquids having known surface tension values (σ) [15] with the dependence proposed by B.V. Deryagin as a basic equation:

$$\cos\theta = 1 + \frac{A^*}{12\pi\sigma_l h_{\text{min}}^2}, \quad (7)$$

Where $h_{\min}$ is the smallest film thickness that corresponds to the van der Waals distance (0.24 nm) [16].

In this case, it should be noted that this experimental approach makes it possible to determine not the absolute value of the unknown quantity, but the possible analogue value of the Hamaker constant (A^*) [17, 18]. Therefore, in our opinion, an urgent task is to create a database of reference data related to the analogue value of the Hamaker constant for systems of various nature (natural and antropogenic origin). A^* can be a criterion for evaluating the correctness of the choice of dispersed components and the main conditions for their effective use determining the parameters under which the dispersed system is aggregatively stable (unstable).

Another criterion used to assess the ability of particles to maintain distribution throughout the dispersion medium is the sedimentation rate (V_{sed}). In suspensions with dispersed phase particles ranging in size from 10^{-7} to 10^{-4} m, Brownian motion is practically absent, and the sedimentation rate is determined by the equation [19–22]:

$$V_{\text{sed}} = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta}, \quad (8)$$

where ρ is the density of dispersed phase particles (kg/m^3); ρ_0 is the density of the dispersion medium ($\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ is assumed for water at 20°C); g is the acceleration of gravity, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; η is the dispersion medium viscosity ($\eta = 8.9 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ for water suspension at 20°C).

This paper presents the results of the analysis according to the criteria of U_{int} and V_{sed} of the polymineral sand dispersed system (water suspension) ($\rho = 2630 \text{ kg/m}^3$) calculated taking into account the analogue value of the Hamaker constant, zeta potential and dimensional char-

acteristics of its solid phase particles, physical and chemical properties of the dispersion medium.

METHODS AND MATERIALS

The analysis of the results obtained by us earlier and published in [16, 18, 19] was carried out according to the above calculation scheme. The polymineral quarry sand from the Kholmogorskoye deposit (Kholmogorsky district, Arkhangelsk region) was chosen as the object of research. Fine powder with the mean volume diameter of $195 \pm 95 \text{ nm}$ was obtained by mechanical grinding at the planetary ball mill. The zeta potential of solid phase particles was determined by measuring the rate of electrophoresis in a prepared water suspension at pH in the range of 2.5–9.5. Changes in the dispersion medium pH were carried out by acidifying the solution with hydrochloric acid or alkalizing the solution with sodium hydroxide.

Energy parameters of particle interaction were calculated using the analogue value of the complex Hamaker constant (A^*), which we determined for this sand based on the results of experiments described in the paper [21]. This value was $A^* = 0.5 \cdot 10^{-20} \text{ J}$.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the experimental results obtained in the paper [21].

Table 1 shows pH values of the dispersion medium selected (arbitrarily) for calculations, zeta potential of particles, corresponding ionic strength of the solution and U_{int} values calculated according to equations (5) and (6).

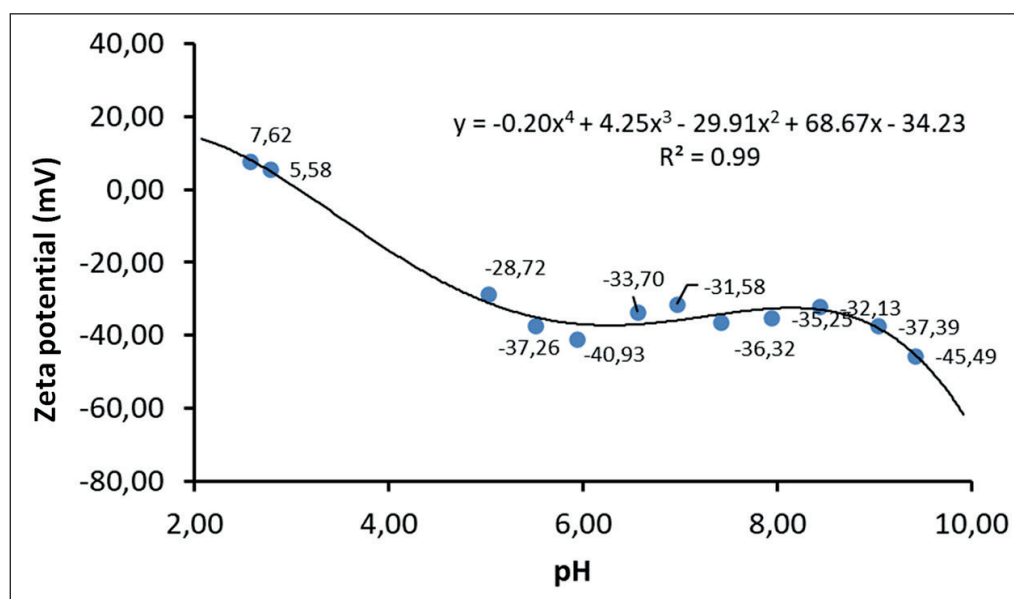


Fig. 1. Functional dependence of zeta potential changes on the dispersion medium pH [21]

Table 1

pH, ζ potential, I of the dispersed system and U_{int}

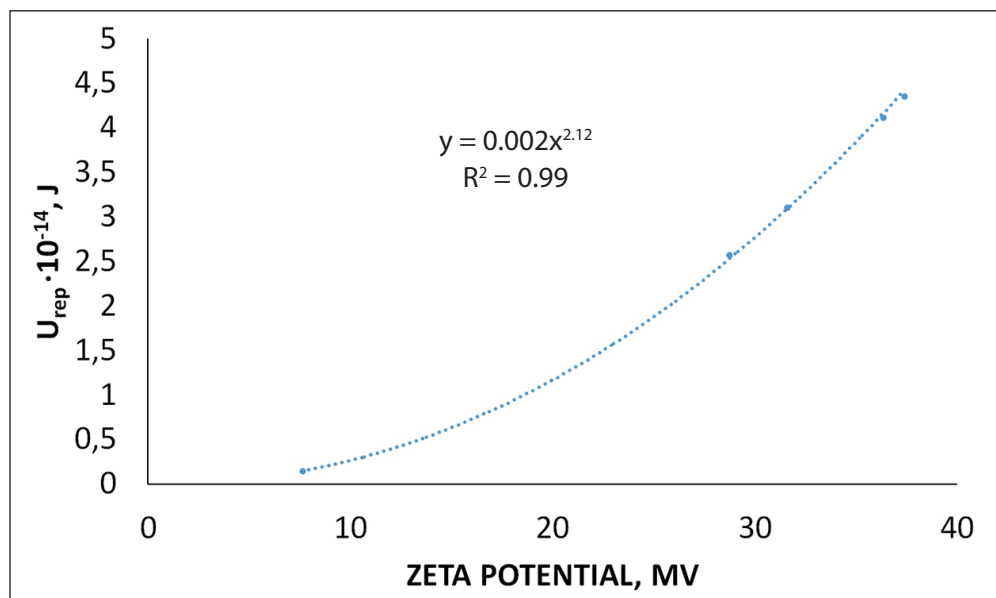
pH	2.5	5.0	7.0	8.0	9.0
ζ potential, mV	7.62	−28.72	−31.58	−36.32	−37.39
I , mol/l	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	0	10^{-5}	10^{-4}
U_{att} , J	$1.29 \cdot 10^{-29}$	$1.29 \cdot 10^{-29}$	$1.29 \cdot 10^{-29}$	$1.29 \cdot 10^{-29}$	$1.29 \cdot 10^{-29}$
U_{rep} , J	$1.53 \cdot 10^{-15}$	$2.58 \cdot 10^{-14}$	$3.11 \cdot 10^{-14}$	$4.12 \cdot 10^{-14}$	$4.36 \cdot 10^{-14}$
U_{int} , J	$1.53 \cdot 10^{-15}$	$2.58 \cdot 10^{-14}$	$3.11 \cdot 10^{-14}$	$4.12 \cdot 10^{-14}$	$4.36 \cdot 10^{-14}$

Particle interaction energy calculations (Table 1) showed that the presence of an electrostatic barrier in the suspension under consideration allows us to talk about the aggregative stability of the system ($U_{int} > 0$) over the entire range of measured pH. The energy of van der Waals attraction between particles is almost 10 orders of magnitude lower than the energy of electrostatic repulsion, i.e. the electrostatic factor contributes to the preservation of aggregative stability in this system. Figure 2 shows a dependence of $U_{rep} = f(\zeta)$, which is described by a mathematical equation (R^2 is the approximation confidence, 0.99):

$$U_{rep} = 0.002\zeta^{2.12}. \quad (9)$$

Using this functional relationship, it can be concluded that the suspension becomes aggregatively unstable only at the ζ potential value of approximately 10^{-4} mV $U_{rep} < U_{att}$ (the system nearly reaches its isoelectric state).

The calculations carried out showed that the water suspension of particles of polymineral sand from the studied deposit features by the ability of the dispersed phase to maintain the degree of dispersion, i.e. particle sizes, unchanged in time and resist their unification throughout the studied pH range. It seems important to assess the kinetic (sedimentation) stability of this suspension – resistance to gravity, i.e. the ability to resist the dispersed system stratification due to the difference in particle densities of the dispersed phase and the dispersion medium. As a quantitative criterion, we can use the kinetic parameter of sedimentation – its velocity calculated by equation (8). For the object under study in an aqueous dispersion medium with the averaged dimensional characteristics of 195 nm, the sedimentation rate is $V_{sed} \approx 4$ nm/sec. At such a precipitation rate of solid phase particles, a dispersed system based on finely fragmented polymineral sand from the Kholmogorskoye deposit can be considered sedimentationally stable.

Fig. 2. Functional dependence of the $U_{rep} = f(\zeta)$ form

CONCLUSION

In order to assess the aggregative stability of mineral dispersed systems based on the comparison of particle interaction energy in the classic case taking into account the DLVO theory provisions, it is necessary, in addition to studying their electrokinetic properties, to perform works

on determining the analogue Hamaker constant value. Therefore, studies aimed at experimentally determining the quantitative values of this characteristic and compiling a database for finely dispersed mineral systems of various origin are of particular interest when choosing the nature of the material and establishing formulation process factors for its use.

REFERENCES

1. Kharkhadin A.N., Nelyubova V.V., Popov A.L., Strokova V.V. Milling topology of micro- and nanodispersed materials of various mineral composition. *Regional Architecture and Construction*. 2017; 2(31): 5–12.
2. Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Nelyubova V.V. Highly concentrated aluminosilicate binding suspension made of granodiorite. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2019; 14(66): 73–83.
3. 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. DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228).
4. Korolev E.V. Prospects for building materials science development. *Regional Architecture and Construction*. 2020; 3: 143–159.
5. Lunina M.A. Main regularities of aggregative stability and coagulation of lyophobic colloidal systems. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Magnetic Fluids, September 2002, Plyos, Russia*. 2002. p. 4–10.
6. Ayzenshtadt A.M., Drozdyuk T.A., Danilov V.E., Frolova M.A., Garamov G.A. Surface activity of concrete waste powders. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 108–116. DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116).
7. Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Drozdyuk T.A., Frolova M.A., Garamov G.A. Integral quality indicators of waste concrete for reuse. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5): 276–281. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-276-281>
8. Danilov V.E., Shinkaruk A.A., Ayzenshtadt A.M., Drozdyuk T.A., Frolova M.A. Aggregative stability of the water suspension of finely dispersed basalt. *Nanotechnologies in Construction*. 2018; 10(6): 77–90. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-77-90](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-77-90).
9. Deryagin B.V. *Theory of stability of colloids and thin films*. Moscow: Nauka. 1986.
10. Volkov V.A. *Colloidal chemistry. Surface phenomena and dispersed systems: Textbook*. 2nd ed. St. Petersburg: Lan Publishing House; 2015.
11. Boynovich L.B. Long-range surface forces and their role in nanotechnology development. *Uspekhi Khimii*. 2007; 76(5): 510–528.
12. Tsao Guozhong, Ying Wang. *Nanostructures and nanomaterials. Synthesis, properties, and applications*. Transl. from English by A.I. Efimova, S.I. Kargov. Moscow: Nauchny Mir; 2012.
13. Roldugin V.I. *Physical chemistry of surfaces: Textbook-monograph*. Dolgoprudny: Intellect Publishing House; 2008.
14. Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Frolova M.A., Tutygin A.S. *Physical chemistry elements of finely dispersed systems*. Arkhangelsk: NArFU; 2015.
15. Deryagin B.V., Churaev N.V., Muller V.M. *Surface forces*. Moscow: Nauka; 1985.
16. Frolova M.A., Tutygin A.S., Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Criterion for evaluation of surface energy properties. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2011; 2(4): 120–125.
17. Deryagin B.V., Churaev N.V. *Wetting films*. Moscow: Nauka; 1984.
18. Ayzenshtadt A.M., Korolev E.V., Drozdyuk T.A., Danilov V.E., Frolova M.A. Potential approach to evaluation of dispersive interactions in powder systems. *Physics and Chemistry of Materials Treatment*. 2021; 3: 40–48. Available from: [doi: 10.30791/0015-3214-2021-3-40-48](https://doi.org/10.30791/0015-3214-2021-3-40-48).
19. Danilov V.E., Korolev E.V., Ayzenshtadt A.M. Measuring the contact angles of powders by the sessile drop method. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2021; 12(3): 794–798.
20. Gelfman M.I. Kovalevich O.V., Yustratov V.P. *Colloidal chemistry: textbook*. St. Petersburg: Lan; 2010.

21. Danilov V.E. Mechanical synthesis of finely dispersed silica for sodium polysilicate-based binder production. In: *Construction – the Formation of Living Environment: Proceedings of the XX International Interuniversity Scientific and Practical Conference*. Moscow: NRU MGSU; 2017. p. 798–800.

22. Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Sokolova Y.V., Drozdyuk T.A. (2022) Control of Physical and Chemical Processes at the Phase Boundary in the Formation of Building Composites. *Digital Technologies in Construction Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022; 173: 209–215 Springer, Cham. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_27.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

The author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.01.2022; approved after reviewing 02.02.2022; accepted for publication 04.02.2022.

Научная статья

УДК 548.31; 691.3

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-5-10>

CC BY 4.0

Аспекты определения агрегативной стабильности водных суспензий минеральных порошков для строительных композитов

Мария Аркадьевна Фролова 

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

Автор, ответственный за переписку: e-mail: m.aizenstadt@narfu.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. При использовании водных суспензий минеральных тонкодисперсных систем природного и техногенного происхождения в качестве активных добавок при получении бетонных композитов важным фактором их эффективного применения является соблюдение агрегативной и седиментационной устойчивости частиц твердой фазы до введения ее в реакционную смесь. **Методы и материалы.** В работе показан, на примере суспензии из тонкодисперсного порошка полиминерального песка месторождения «Холмогорское» Архангельской области (средний размер частиц 195 нм), алгоритм количественной оценки критериев устойчивости согласно положениям теории ДЛФО. Для успешной оценки агрегативной устойчивости данной коллоидной системы помимо экспериментального определения величины дзета-потенциала частиц необходимы эксперименты по определению аналоговой величины постоянной Гамакера, которая для исследуемого минерального песка составила $0,5 \cdot 10^{-20}$ Дж. В данной работе представлены результаты анализа по критериям $U_{вз}$ и $V_{сед}$ дисперсной системы (водной суспензии) полиминерального песка, рассчитанные с учетом аналоговой величины постоянной Гамакера, величины дзета-потенциала и размерных характеристик частиц ее твердой фазы, физико-химических свойств дисперсионной среды. **Результаты и обсуждение.** Показано, что определяющим фактором агрегативной устойчивости суспензии является электростатический барьер взаимодействия частиц. Путем теоретического расчета установлено, что нарушение агрегативной устойчивости системы может наступить, когда дзета-потенциал ее частиц достигнет значения порядка 10^{-4} мВ (практически изоэлектрическое состояние). Для оценки кинетической (седиментационной) устойчивости данной суспензии – устойчивости к действию силы тяжести, то есть способности противостоять расслоению дисперсной системы за счет различия в плотностях частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды – предлагается использовать кинетический параметр седиментации – ее скорость. **Заключение.** Для исследуемого нами объекта в водной дисперсионной среде, усредненные размерные характеристики которого составляют 195 нм, скорость седиментации $V_{сед} \approx 4$ нм/сек. При такой скорости осаждения частиц твердой фазы можно считать дисперсную систему на основе тонкораздробленного полиминерального песка месторождения «Холмогорское» седиментационно устойчивой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетонный композит, агрегативная и седиментационная устойчивость, аналоговая величина постоянной Гамакера, скорость седиментации.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследования проводились на уникальном научном оборудовании «Физическая химия поверхностей нанодисперсных систем» при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-23-00047.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Фролова М.А. Аспекты определения агрегативной стабильности водных суспензий минеральных порошков для строительных композитов // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 5–10. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-5-10>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в практике получения бетонных композитов широкое распространение получили технологические приемы, связанные с использованием добавок предварительно активированных вы-

сокодисперсных систем. В качестве сырья в этом случае используют достаточно широкую номенклатуру материалов природного (в основном, горные породы различного генезиса) и техногенного (зола уноса, отработанный бетонный лом и пр.) происхождения [1–3]. Однако введение таких добавок, содержание

© Фролова М.А., 2022

которых в цементно-песчаной смеси, как правило, не превышает 10 %, связано с определенными технологическими сложностями их равномерного распределения по всему объему композита. Эта проблема решается достаточно просто путем введения в реакционную смесь высокодисперсных систем в виде суспензий, дисперсионной средой которых является вода затворения. Однако в этом случае приходится решать задачу по приданию агрегативной устойчивости частицам твердой фазы минеральных суспензий. Самым простым приемом при этом является дополнительное введение в коллоидный раствор поверхностно-активных веществ различной природы. Следствием такого приема является неизбежное снижение активности высокодисперсных частиц за счет образования стабилизирующих поверхностных слоев ПАВ. Интенсивность взаимодействий на границе раздела фаз приводит к формированию «пленочной фазы» матричного материала (минеральных частиц), отличающихся от свойств матрицы [4]. Поэтому для агрегативно устойчивых коллоидных систем определяющее значение имеет состояние граничащих поверхностных слоев, сформированных на частицах дисперсной фазы [5–7]. На основе представлений о поверхностных силах и расклинивающем давлении в тонких пленках, развитых Б.В. Дерягиным [8], разработана современная теория устойчивости коллоидов (теория ДЛФО). Эта теория основана на энергетическом балансе сил, проявляющихся между частицами дисперсной системы, самопроизвольно сближающихся на короткое расстояние. Так, в агрегативно устойчивой системе при перекрытии поверхностных слоев сблившихся частиц одинаковой природы возникают силы отталкивания ($F_{\text{отт}}$) электростатической природы. При достаточной величине энергетического барьера отталкивания дисперсная система является агрегативно устойчивой. В этом случае сближение частиц на расстояние, где преобладают силы притяжения ($F_{\text{пр}}$), невозможно.

С точки зрения представлений коллоидной химии [9], поверхность высокодисперсных частиц, распределенных в жидкости, несет определенный заряд, благодаря которому формируется двойной электрический слой (ДЭС). Согласно теории ДЛФО, наличие ДЭС на поверхности частиц создает барьер электростатического отталкивания, обеспечивая устойчивость разбавленных коллоидных систем.

Для расчета величины энергии взаимодействия ($U_{\text{вз}}$) между двумя частицами дисперсной системы используют потенциальные зависимости этой суммарной энергетической величины от расстояния между частицами в зоне перекрытия их поверхностных слоев (h), которое не превышает 20 нм. Тогда

$$U_{\text{вз}} = U_{\text{отт}} - U_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{отт}}$ и $U_{\text{пр}}$ – энергии отталкивания и притяжения, соответственно.

При значениях $U_{\text{вз}} < 0$ дисперсная система является агрегативно неустойчивой, а при значениях $U_{\text{вз}} > 0$ она устойчива. В свою очередь, теория ДЛФО [8, 9] дает следующие уравнения для расчета энергии притяжения и отталкивания между взаимодействующими частицами:

$$U_{\text{отт}} = 2\pi\epsilon\epsilon_0\varphi^2 r \ln(1 + e^{\vartheta h}), \quad (2)$$

$$U_{\text{пр}} = \frac{Ar}{12h}, \quad (3)$$

где r – радиус частиц; φ – потенциал поверхности (численно равен ζ -потенциалу); v – величина, обратная толщине поверхностного слоя ($v = 1/\lambda$),

$$\vartheta = \left(\frac{2F^2 I}{\epsilon\epsilon_0 RT}\right)^{1/2}, \quad (4)$$

I – ионная сила раствора, $I = \frac{1}{2} \sum (c_i z_i^2)$, c_i – концентрация ионов в растворе, z_i – величина заряда иона;

F – постоянная Фарадея, $F = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль · К);

ϵ – диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды, Ф/м;

ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

A – сложная константа молекулярных сил взаимодействия (постоянная Гамакера).

Таким образом, исходя из уравнений (2), (3) и (4), знак $U_{\text{отт}}$ дисперсной системы будет определяться природой ее составляющих компонентов. Так, природа дисперсной фазы определяется величиной постоянной A , а дисперсионной среды – значением характеристики I . Зависимая переменная, связанная с природой дисперсной фазы и дисперсионной среды, – величина электрокинетического потенциала (ζ). Современная инструментальная база физико-химических методов анализа позволяет достаточно просто решить задачу количественного определения величины дзета-потенциала, например, при измерениях скорости электрофореза частиц. Кроме того, проводя расчеты энергетических характеристик при взаимодействии минеральных частиц только в водной дисперсионной среде (без добавления электролитов, изменяющих, например, pH системы), можно упростить схему расчета $U_{\text{отт}}$, допуская значение $I \approx 0$. Тогда для 20 °C получим следующее уравнение:

$$U_{\text{отт}} = (31,05 \cdot 10^{-10} \varphi^2 - \frac{A}{12h}) \cdot r. \quad (5)$$

Вместе с тем, известно, что величина pH дисперсионной среды может существенно изменять зна-

чение ζ -потенциала вплоть до перезарядки поверхности частиц. В этом случае расчет характеристики агрегативной устойчивости дисперсной системы по критерию $U_{вз}$ нужно будет проводить с учетом изменения значений ионной силы раствора:

$$U_{вз} = 2\pi\epsilon\epsilon_0\varphi^2 r \ln(1 + e^{\theta h}) - \frac{Ar}{12h}. \quad (6)$$

Ключевым элементом этого подхода к оценке агрегативной устойчивости дисперсных систем является установление величины постоянной Гамакера (A). Значение A для некоторых веществ (и систем) можно найти в справочной литературе [10–13]. Однако развитые теоретические положения физико-химии поверхностных явлений [14] позволили нам применять метод расчета постоянной Гамакера, основанный на определении равновесного краевого угла смачивания (θ) поверхности анализируемого материала жидкостями с известными значениями поверхностного натяжения ($\sigma_{ж}$) [15], используя в качестве основного уравнения зависимость, предложенную Б. В. Дерягиным:

$$\cos\theta = 1 + \frac{A^*}{12\pi\sigma_{ж}h_{\min}^2}, \quad (7)$$

где $h_{\min}$ — наименьшая толщина пленки, которая соответствует ван-дер-ваальсовому расстоянию (0,24 нм) [16].

В этом случае необходимо отметить, что данный экспериментальный подход позволяет определить не абсолютное значение искомой величины, а возможное аналоговое значение постоянной Гамакера (A^*) [17, 18]. Поэтому создание базы справочных данных, связанных с величиной аналоговой величины постоянной Гамакера для систем различной природы (естественного и техногенного происхождения), на наш взгляд, является актуальной задачей. A^* может быть критерием, позволяющим оценить правильность выбора дисперсных компонентов и основные условия их эффективного применения, определяя параметры, при которых дисперсная система является агрегативно устойчивой (не устойчивой).

Другим критерием, позволяющим оценить способность частиц сохранять распределение по всему объему дисперсионной среды, является скорость седиментации ($V_{сед}$). В суспензиях с частицами дисперсной фазы размером от 10^{-7} до 10^{-4} м броуновское движение практически отсутствует, а скорость седиментации определяется уравнением [19–22]:

$$V_{сед} = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta}, \quad (8)$$

где ρ — плотность частиц дисперсной фазы ($\text{кг}/\text{м}^3$); ρ_0 — плотность дисперсионной среды (для воды при 20°C примем $\rho = 998 \text{ кг}/\text{м}^3$); g — ускорение

силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; η — вязкость дисперсионной среды (для водной суспензии при 20°C $\eta = 8,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

В данной работе представлены результаты анализа по критериям $U_{вз}$ и $V_{сед}$ дисперсной системы (водной суспензии) полиминерального песка ($\rho = 2630 \text{ кг}/\text{м}^3$), рассчитанным с учетом аналоговой величины постоянной Гамакера, величины дзета-потенциала и размерных характеристик частиц ее твердой фазы, физико-химических свойств дисперсионной среды.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Анализ результатов, полученных нами ранее и опубликованных в работах [16, 18, 19], осуществлен по вышеприведенной схеме расчета. В качестве объекта исследований был выбран полиминеральный карьерный песок месторождения «Холмогорское» (Холмогорский район, Архангельская область). Методом механического помола на планетарной шаровой мельнице был получен тонкодисперсный порошок со средним объемным диаметром частиц 195 ± 95 нм. Величину дзета-потенциала частиц твердой фазы определяли методом измерения скорости электрофореза в приготовленной водной суспензии при значениях pH в диапазоне 2,5–9,5. Изменения pH дисперсионной среды проводились путем подкисления раствора соляной кислотой или подщелачиванием раствора гидроксидом натрия.

Для проведения расчетов энергетических параметров взаимодействия частиц использовали значение аналоговой величины сложной постоянной Гамакера (A^*), определенной нами для данного песка по результатам экспериментов, изложенных в работе [21]. Эта величина составила $A^* = 0,5 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены результаты эксперимента, полученные в работе [21].

В табл. 1 приведены выделенные (произвольно) для проведения расчетов значения pH дисперсионной среды, дзета-потенциал частиц, соответствующая ионная сила раствора и рассчитанные по уравнениям (5) и (6) значения $U_{вз}$.

Проведенные расчеты энергии взаимодействия частиц (табл. 1) показали, что в рассматриваемой суспензии наличие электростатического барьера позволяет говорить об агрегативной устойчивости системы ($U_{вз} > 0$) во всем диапазоне измеряемых pH. Энергия Ван-дер-Ваальсового притяжения между частицами практически на 10 порядков ниже, чем энергия электростатического отталкивания, то есть

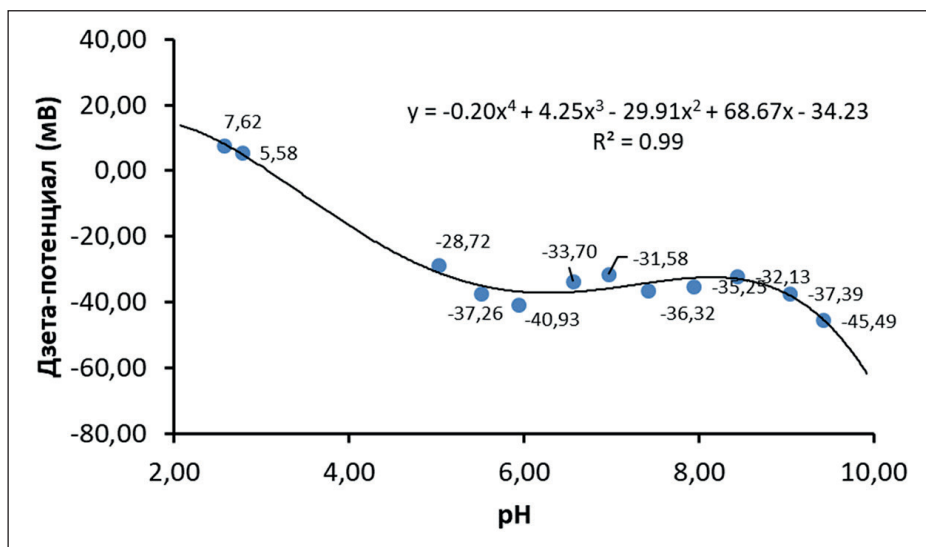


Рис. 1. Функциональная зависимость изменения дзета-потенциала от pH дисперсионной среды [21]

Таблица 1

pH, ξ -потенциал, I дисперсной системы и $U_{вз}$

pH	2,5	5,0	7,0	8,0	9,0
ξ -потенциал, мВ	7,62	-28,72	-31,58	-36,32	-37,39
I , моль/л	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	0	10^{-5}	10^{-4}
$U_{пр}$, Дж	$1,29 \cdot 10^{-29}$	$1,29 \cdot 10^{-29}$	$1,29 \cdot 10^{-29}$	$1,29 \cdot 10^{-29}$	$1,29 \cdot 10^{-29}$
$U_{отт}$, Дж	$1,53 \cdot 10^{-15}$	$2,58 \cdot 10^{-14}$	$3,11 \cdot 10^{-14}$	$4,12 \cdot 10^{-14}$	$4,36 \cdot 10^{-14}$
$U_{вз}$, Дж	$1,53 \cdot 10^{-15}$	$2,58 \cdot 10^{-14}$	$3,11 \cdot 10^{-14}$	$4,12 \cdot 10^{-14}$	$4,36 \cdot 10^{-14}$

в данной системе сохранению агрегативной устойчивости способствует электростатический фактор. На рис. 2 представлена зависимость вида $U_{отт} = f(\xi)$, которая описывается математическим уравнением (R^2 – достоверность аппроксимации, 0,99):

$$U_{отт} = 0,002\xi^{2,12}. \quad (9)$$

Используя эту функциональную взаимосвязь, можно заключить, что только при значении ξ -потенциала порядка 10^{-4} мВ $U_{отт} < U_{пр}$ (практически достигается изоэлектрическое состояние системы) суспензия становится агрегативно неустойчивой.

Проведенные расчеты показали, что водная суспензия частиц полиминерального песка изучаемого месторождения характеризуется во всем исследуемом диапазоне pH способностью дисперсной фазы сохранять неизменно во времени степень дисперс-

ности, то есть размеры частиц, и противостоять их объединению. Представляется важным оценить кинетическую (седиментационную) устойчивость данной суспензии – устойчивость к действию силы тяжести, то есть противостоять расслоению дисперсной системы за счет различия в плотностях частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды. В качестве количественного критерия можно использовать кинетический параметр седиментации – ее скорость, рассчитываемую по уравнению (8). Для исследуемого нами объекта в водной дисперсионной среде, усредненные размерные характеристики которого составляют 195 нм, скорость седиментации $V_{сед} \approx 4$ нм/сек. При такой скорости осаждения частиц твердой фазы можно считать дисперсную систему на основе тонкораздробленного полиминерального песка месторождения «Холмогорское» седиментационно устойчивой.

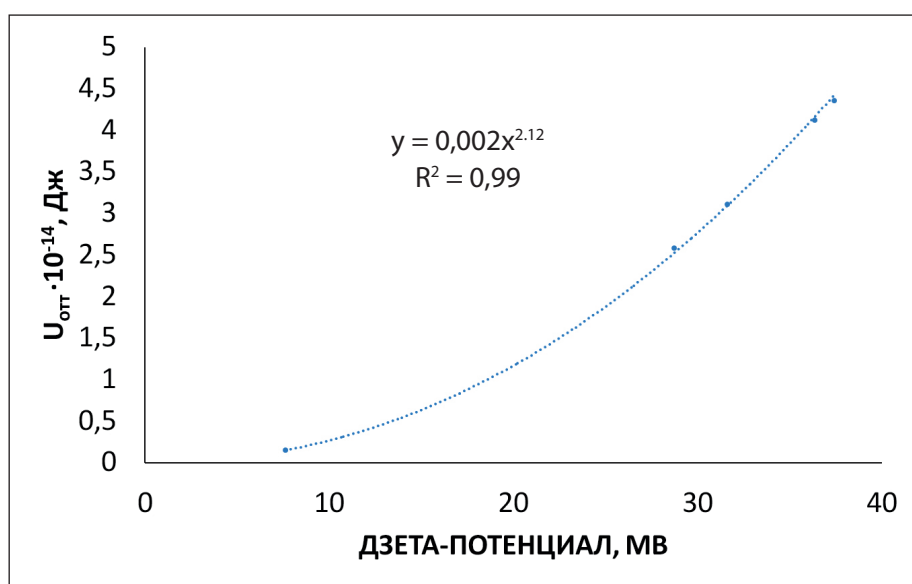


Рис. 2. Функциональная зависимость вида $U_{\text{opt}} = f(\zeta)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки агрегативной устойчивости минеральных дисперсных систем, основанной на сравнении энергии взаимодействия частиц в классическом варианте, с учетом положений теории ДЛФО, необходимо, помимо изучения их электрокинетических свойств, выполнить работы по определению вели-

чины аналоговой постоянной Гамакера. Поэтому исследования, направленные на экспериментальное определение количественных значений этой характеристики и составления базы данных для тонкодисперсных минеральных систем различного генезиса, представляют определенный интерес при выборе природы материала и установлении рецептурно-технологических факторов его использования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хархадин А.Н., Нелюбова В.В., Попов А.Л., Строкова В.В. Топология измельчения микро- и нанодисперсных материалов различного минерального состава // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2(31). С. 5–12.
2. Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В. Высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия из гранодиорита. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. №14(66). С. 73–83.
3. 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. Т. 13, № 4. С. 222–228. DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-222-228).
4. Королев Е.В. Перспективы развития строительного материаловедения // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 3. С. 143–159.
5. Лунина М. А. Основные закономерности агрегативной устойчивости и коагуляции лиофобных коллоидных систем // Сборник научных трудов 10-й международной конференции по магнитным жидкостям. Сентябрь. Плес. Россия. 2002. С. 4–10.
6. Айзенштадт А.М., Дроздук Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А., Гарамов Г.А. Активность поверхности порошков бетонного лома // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 2. С. 108–116. DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116).

7. Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Дроздук Т.А., Фролова М.А., Гарамов Г.А. Интегральные показатели качества отработанного бетона для вторичного использования // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 5. С. 276–281. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-276-281>.
8. Данилов В.Е., Шинкарук А.А., Айзенштадт А.М., Дроздук Т.А., Фролова М.А. Агрегативная устойчивость водной суспензии тонкодисперсного базальта // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10, № 6. С. 77–90. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-77-90](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-77-90).
9. Дерягин Б. В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. М.: Наука, 1986. 206 с.
10. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учебник. – 2-е изд. СПб.: Лань, 2015. 672 с.
11. Бойнович Л.Б. Дальнедействующие поверхностные силы и их роль в развитии нанотехнологии // Успехи химии. 2007. Т. 76, № 5. С. 510–528.
12. Цао Гочжун, Ин Ван. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение. Пер. с англ. А.И. Ефимова, С.И. Каргов. М.: Научный мир, 2012. 520 с.
13. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности: учебник-монография. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2008. 568 с.
14. Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Фролова М.А., Тутыгин А.С. Элементы физикохимии поверхности высокодисперсных систем // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2015. 145 с.
15. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. М.: Наука, 1985. 368 с.
16. Фролова М.А., Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Махова Т.А., Поспелова Т.А. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. № 2 (4). С. 120–125.
17. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. М.: Наука, 1984. 160 с.
18. Айзенштадт А.М., Королев Е.В., Дроздук Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А. Возможный подход к оценке дисперсионного взаимодействия в порошковых системах // Физика и химия обработки материалов. 2021. № 3. С. 40–48. DOI: [10.30791/0015-3214-2021-3-40-48](https://doi.org/10.30791/0015-3214-2021-3-40-48).
19. Danilov V.E., Korolev E.V., Ayzenshtadt A.M. Measuring the contact angles of powders by the sessile drop method. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2021; 12(3): 794–798.
20. Гельфман М.И. Ковалевич О.В. Юстратов В.П. Коллоидная химия: учебник. СПб.: Лань, 2010. 336 с.
21. Данилов В.Е. Механосинтез тонкодисперсного кремнезема для получения вяжущего на основе полисиликата натрия // Строительство - формирование среды жизнедеятельности: сборник научных трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции. Москва: НИУ МГСУ, 2017. С. 798–800.
22. Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Sokolova Y.V., Drozdyuk T.A. (2022) Control of Physical and Chemical Processes at the Phase Boundary in the Formation of Building Composites. *Digital Technologies in Construction Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022; 173: 209–215 Springer, Cham. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.01.2022; одобрена после рецензирования 02.02.2022; принята к публикации 04.02.2022.

High-strength wall ceramics based on phosphorus slag and bentonite clay

Zhusupbek T. Suleimenov , Aimahambet A. Sagyndykov* , Zhangazy N. Moldamuratov ,
Gulsara M. Bayaliyeva , Zhanna B. Alimbayeva 

M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

* Corresponding author: e-mail: ernur.abutalipov98@mail.ru

ABSTRACT: Introduction. One of the promising ways to get high-strength ceramics is the method of semi-dry pressing of the "coarsely dispersed component – finely ground binder" formula. This method suggests using crushed industrial waste as the core, and finely ground nanostructured fusible clay as the binder material. **Methods and materials.** In the research, bentonite clay of the Darbазinsky deposit of the Turkestan region was used as plastic material, and dense crystallized phosphorus slag which is a waste of phosphorus production was used as a non-plastic coarse material. The study of the prescription factors' influence on the basic physical and mechanical properties of ceramic wall materials was carried out by the simplex method characterized as lattice planning of experiments. The nanostructure of the phosphorus slag and bentonite clay formula was studied by the electron microscopic analysis method. **Results.** The binder content in the amount of 25% guarantees the density of the packages, while the sintering effect becomes sufficient and the strength of the samples is 27.1 MPa. If the amount of binder increases from 25% to 40%, the sintering effect continues to grow and the strength of the samples reaches 54.3 MPa. **Discussion.** The results show that the most active sintering effect and the dense structures forming in coarse-grained formulas with high-calcium phosphorus slag occur at 40–60% binder content. The presence of flux around slag grains in an amount of less than 30% contributes to obtaining less dense samples, with a binder content of 40%, a density increase is observed, which corresponds to the mixed ceramic structures modeling. **Conclusion.** To get high-strength ceramic bricks, the content of coarsely dispersed components in the form of phosphorus slag with a fraction of less than 1.25 mm should amount to 60–70%, finely ground phosphorus slag should be 5–10%, and bentonite clay is to be 20–30%. Optimum technological indicators are: calcination temperature 1050–1100°C, pressing pressure 20–25 MPa, press powder moisture content 7–8%.

KEYWORDS: phosphorus slag, bentonite clay, nanostructure, semi-dry pressing, pressing powder.

FOR CITATION: Suleimenov Zh.T., Sagyndykov A.A., Moldamuratov Zh.N., Bayaliyeva G.M., Alimbayeva Zh.B. High-strength wall ceramics based on phosphorus slag and bentonite clay. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 11–17. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-11-17>.

INTRODUCTION

One of the promising building materials with a variety of colors, textures, and shapes that can develop the quality of building cladding and improve the architectural appearance of buildings is ceramic brick [1–3].

In Kazakhstan, the demand for high-quality ceramic products, such as clinker, the facade facing bricks is increasing. The limited raw material base of high-quality clay raw materials hampers the production of the above-mentioned efficient materials. The main raw materials for the ceramic bricks manufacture are loams, which are low-plastic raw materials with a short sintering interval,

which does not allow obtaining high-quality bricks. The maximum strength of products made of loam, fired at a temperature of 1100°C, does not exceed 15 MPa. In this regard, the transition to a semi-dry pressing method using industrial waste is relevant. To obtain high-strength ceramic materials, it is of interest to use "coarse component – finely ground binder" formula. With such a structure, the clay fraction consumption in the formula content will be in the range of 25–30%, and 75–100% in traditional ceramics of plastic molding [4–6].

Nowadays, the attention of ceramic building materials researchers is increasingly attracted by nanosized clay binder usage [7, 8].

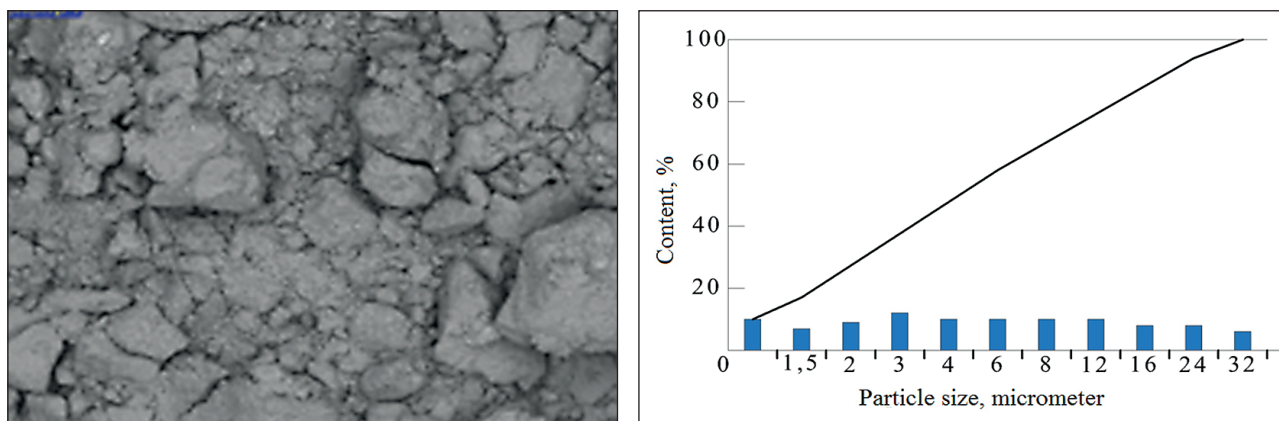


Fig. 1. Micrograph (a, $\times 100$) and size distribution of bentonite clay particles (b):

■ — distribution by fractions; ——— — cumulative distribution

METHODS AND MATERIALS

Bentonite clay of the Darbazinsky deposit of the Turkestan region was used as a plastic material for the studied ceramic masses, and dense crystallized phosphorus slag was used as a coarse material.

Bentonite is a nanostructured material with a high specific surface area, which has the property of self-dispersion, which helps to bind a large amount of non-plastic material. It is well known that the clay mineral montmorillonite consists of three store packages. Crushed particles of the phosphorus slag, located in the interpacket layer of montmorillonite form strong structures [4, 6, 8, 9].

Determination of the granulometric composition of bentonite (Fig. 1) showed that the highly dispersed powder is equally distributed over fractions from 1 to 32 micrometers, with a predominant distribution in the range from 1 to 12 micrometers. Particles form aggregates of irregular shape [10].

Table 1 shows the chemical composition of clay and phosphorus slag.

The slag is characterized by a high content of calcium oxide (47.5%), as well as the phosphorus pentoxide presence and fluorine compounds up to 4.1%, which have a fluxing effect and help to reduce the calcination temperature of ceramic materials. In addition to basic oxides

of silicon, aluminium, and iron, clay contains low-melting oxides such as CaO, MgO, Na₂O and K₂O [11–13].

According to the number of plasticities (38–40), clay belongs to highly plastic, according to the content of clay particles (62.5%) to highly dispersed, according to the index of refractoriness to fusible clays (1250°C).

The phase composition of bentonite clay is characterized by the quartz ($d = 0.335$; 0.425 nm), illite ($d = 0.319$; 0.256 nm), biotite ($d = 1.000$; 0.353 nm), montmorillonite ($d = 0.950$; 0.225 nm), kaolinite ($d = 0.709$ nm) presence. Carbonate inclusions are represented by calcite ($d = 0.303$; 0.228 nm). Potassium feldspar and ferritic phases are also present. The content of montmorillonite is 80–85% [14–16].

Phosphorus slag from the Taraz phosphorus plant is a dense, crystallized mass that melts at a temperature of 1320–1350°C. The phase composition of phosphorus slag is represented mainly by wollastonite and cuspidin [17, 18].

Samples of wall ceramic bricks were made as follows. The slag was subjected to crushing and screening through a 1.25 mm sieve. To obtain a binder, slag and clay were subjected to grinding in a ball mill until they completely passed through a 0.063 mm sieve. Slag granules less than 1.25 mm in size were subjected to moisture until a moisture content of 8% was reached, then a binder was applied

Table 1

Chemical composition of raw materials

Raw material	Composition, mass. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	F + P ₂ O ₅	calcination losses
Bentonite Clay	60.51	16.06	6.43	1.27	2.23	2.41	2.8	1.3	—	8.7
Phosphorus slag	41.3	2.8	0.4	47.5	1.2	0.3	0.1	0.6	4.1	0.2

to their surface. The prepared press powder was poured into a mold and subjected to pressing at a pressure of 15–25 MPa. The strength of the molded raw material is 0.35–0.4 MPa, which satisfies the requirements of the automatic stacker. The sintering process of the composition was studied on cubes samples of 50×50×50 mm in size. Samples were dried at a maximum temperature of 105°C for 3 hours; calcination was carried out in an electric muffle furnace at a temperature of 1050–1100°C with an isothermal exposure of 30 min [19–21].

In order to determine the optimal ratio of the core and the shell, the structures were modeled at a ratio of 5, 10, 20. The amount of the shell substance varied from 20 to 50%. The size of the core aggregates was changed from 0.5 to 1.25 mm, the thickness of the shell was changed from 0.05 to 0.3 mm. The strongest structures were obtained at a ratio of their sizes equal to 10–20.

In the technology of semi-dry pressing, it is important to establish the maximum grain sizes of the coarsely dispersed component. To do this, the temperature stresses at the grain boundaries were calculated according to the formula of W.D. Kingery [7]:

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(\frac{V_1 E_1}{1 - \mu_1} \right) \cdot \left(\frac{V_2 E_2}{1 - \mu_2} \right)}{\left(\frac{V_1 E_1}{1 - \mu_1} \right) + \left(\frac{V_2 E_2}{1 - \mu_2} \right)} \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta T \cdot d, \quad (1)$$

where: σ – stress in the contact layer, MPa; E_1 and E_2 – moduli of elasticity, MPa; μ_1 , μ_2 – Poisson's ratios; $\Delta \alpha$ is the difference in the temperature coefficient of the linear expansion of the phases; ΔT is the temperature

interval in which stresses arise; d – grain size; V – are the volume fractions of the contacting phases.

From the analysis of changes in the thermal stresses developing at the grain boundaries, the maximum sizes of slag grains (1.25 mm) were selected.

Studies of the microstructure of ceramic samples were carried out on a JEOL JSM7500 scanning electron microscope with an X-ray spectral analysis attachment [20].

RESULTS

The influence study of recipe factors on the basic physical and mechanical properties of ceramic wall materials was carried out by the simplex-lattice planning of experiments using the properties of an incomplete cubic form model as a mathematical model [21]:

$$Y = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 xy + A_5 xz + A_6 yz + A_7 xyz + A_8 xy(x-y) + A_9 xz(x-z) + A_{10} yz(y-z). \quad (2)$$

The ultimate compressive (R_{com}) and bending strength (R_{bend}), shrinkage (U , %), and water absorption (W , %) were studied as Y response functions.

The followings were used as raw materials for the ceramic bricks production:

X_1 – the content of phosphorus slag fraction less than 1.25 mm, 55–70%;

X_2 – the content of finely ground bentonite clay, 25–40%;

X_3 – the content of finely ground phosphorus slag, 5–20%.

The experiment planning matrix is given in the Table 2.

Table 2

Experiment Design Matrix

Composition number	Content of components, %			Properties			
	Phosphorus slag fraction less than 1.25 mm, %	Bentonite clay, %	Finely ground phosphorus slag, %	U, %	R _{com} , MPa	R _{bend} , MPa	W, %
	X_1	X_2	X_3				
1	70	25	5	0.9	26.1	2.8	13.8
2	55	40	5	1.9	54.3	4.7	5.2
3	55	25	20	1.6	36.7	3.6	8.2
4	65	30	5	1.2	32.3	3.4	11.8
5	60	35	5	1.6	51.5	3.7	10.4
6	65	25	10	1.4	30.8	3.2	11.8
7	60	25	15	1.5	34.7	3.7	11.2
8	55	35	10	1.1	45.3	3.6	7.4
9	55	30	15	1.2	38.6	3.7	8.6
10	60	30	10	1.4	43.4	3.9	10.9

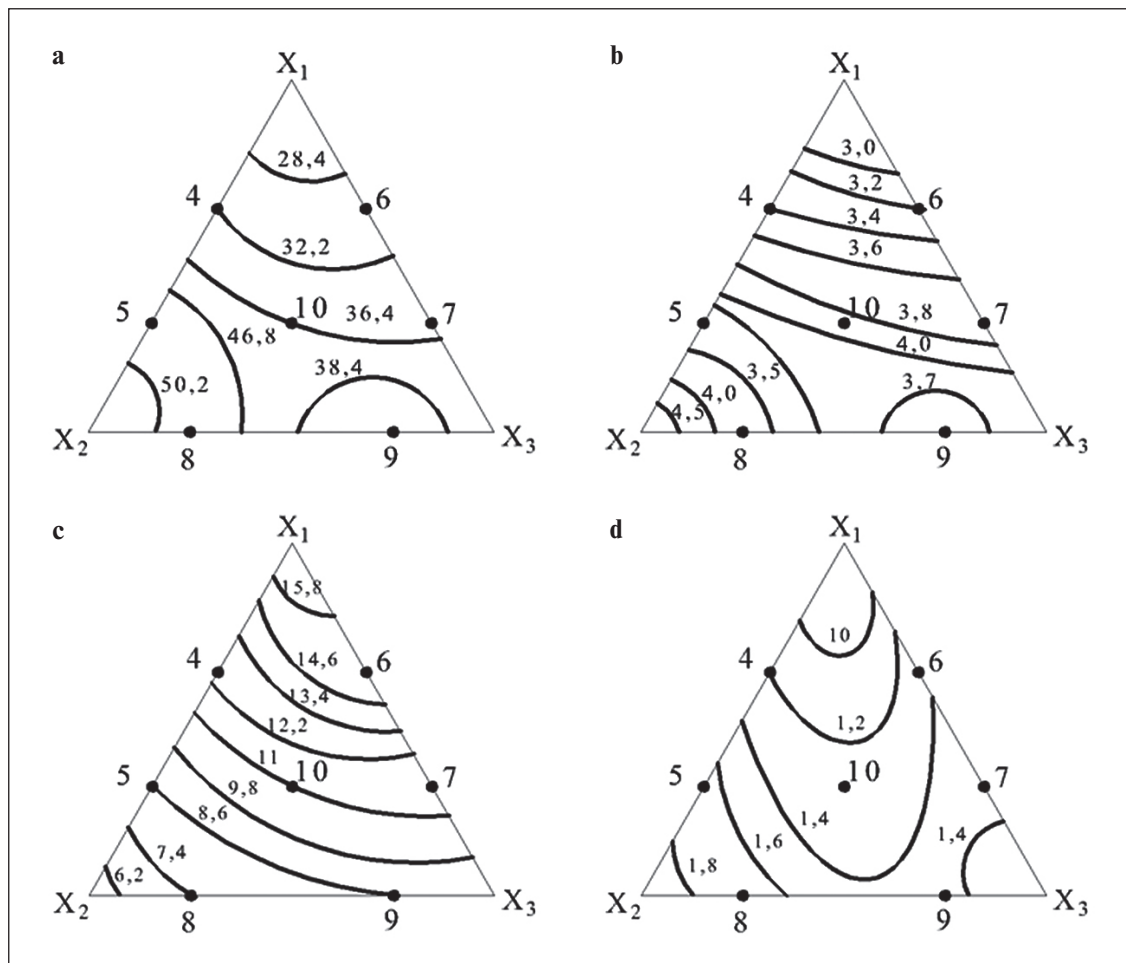


Fig. 2. Equal values lines of high-strength ceramics properties changes:
a – compressive strength; b – bending strength; c – water absorption; d – shrinkage

The figurative points of the binder compositions based on slag and clay are in the $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ state diagram and are located in the anorthite-wollastonite-quartz triangle with eutectic at a temperature of 1165°C.

The regression equation of the compressive strength dependence of ceramic bricks on the composition of the charge has the form:

$$R_c = 27,1x_1 + 54,3x_2 + 49,7x_3 - 17,1x_1x_2 + 18,225x_1x_3 - 61,875x_2x_3 + 315x_1x_2(x_1 - x_2) + 400,275x_1x_3(x_1 - x_3) + 282,375x_2x_3(x_2 - x_3) + 228,15x_1x_2x_3. \quad (3)$$

The clay content in the amount of 25% guarantees the packing density, the sintering effect becomes sufficient, and the samples strength is 27.1 MPa (Fig. 1, b). If the clay amount increases from 25% to 40%, the sintering effect continues to grow and the samples strength reaches 54.3 MPa.

According to the obtained “composition-property” diagrams (Fig. 2, a, b, c, d), ceramic bricks have low

shrinkage (0.9–1.6%), water absorption (7.4–12.1%), high bending strength index (2.8–4.7 MPa).

DISCUSSION

The obtained results show that the most active sintering and dense structures formation in coarse-grained formulas with high-calcium slag occur at a binder content of 35–45% and core-to-shell ratios of 10–20 in accordance with the mixed ceramic structures modeling [17–19].

According to thermodynamic calculations, the most likely anorthite ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), quartz, and wollastonite formation is in the calcination process at temperatures of 400, 800, and 1000°C; such phases with the largest negative values of the Gibbs free energy (ΔZ), with densities that do not change during the synthesis process and contribute to the increase in the brick strength.

The frame structure creation was ensured through the use of a polyfractional composition (phosphorus slag) and finely ground bentonite and phosphorus slag binder.

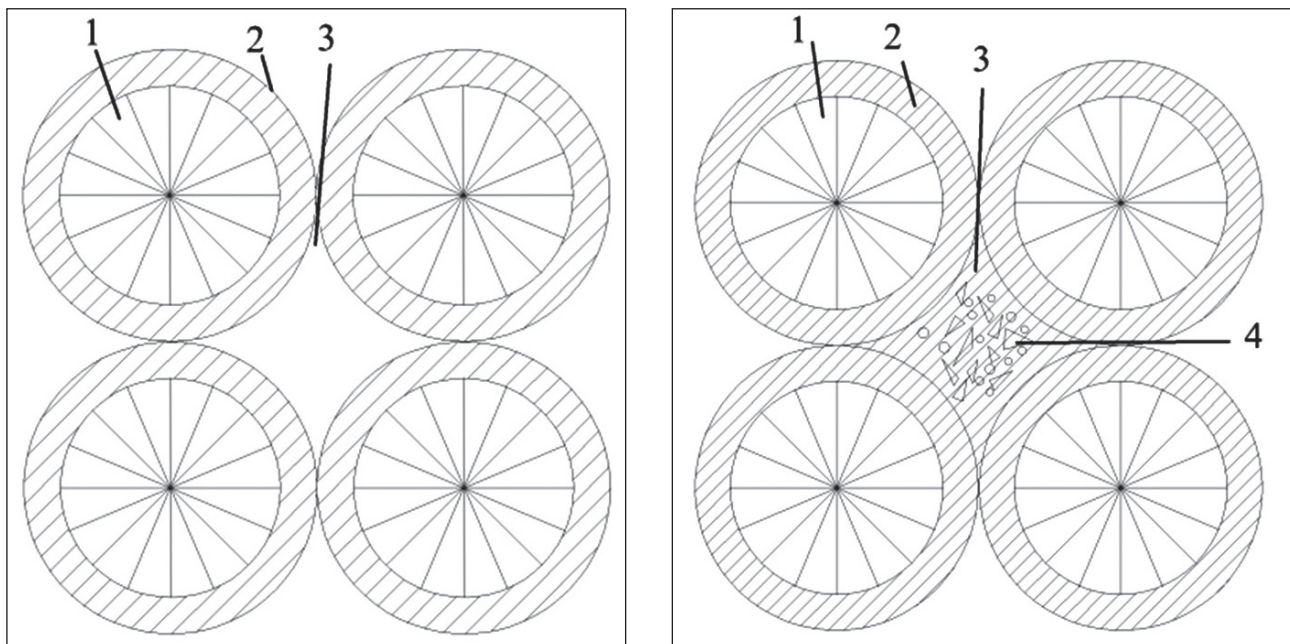


Fig. 3. Frame structure model of ceramic materials according to the “core – shell” type:
1 – slag granule; 2 – binder; 3 – pores; 4 – binder and wollastonite and anorthite crystals

Figure 3 shows frame structure models of the material constituent elements (crystal frame and binder).

The samples structure from the granular slag with binders formula is the most pronounced variant of “core – shell” type structures (Fig. 4, a, b). And the nature of slag with binders structures most clearly reflects the process of their formation. It can be seen from the structure of the samples that the binder forms shells not only around large grains but also around medium and small slag grains located between them. It may be viewed that the shells interact with the surface of the grains to

form the crystalline phases of wollastonite and anorthite. The shell and grain interaction proceeds very actively. As a result of this interaction, a fairly noticeable transition zone is formed from the slag grain surface to the shell. The transition zone formation determines the slag grain and the shell consistency. Therefore, the samples strength is high and amounts to 49–54.3 MPa in compression and 4.3–4.7 MPa in bending [15].

From the structure of the densely sintered samples, achieved by using the maximum (40%) amount of clay in the binder and after calcination at a high temperature

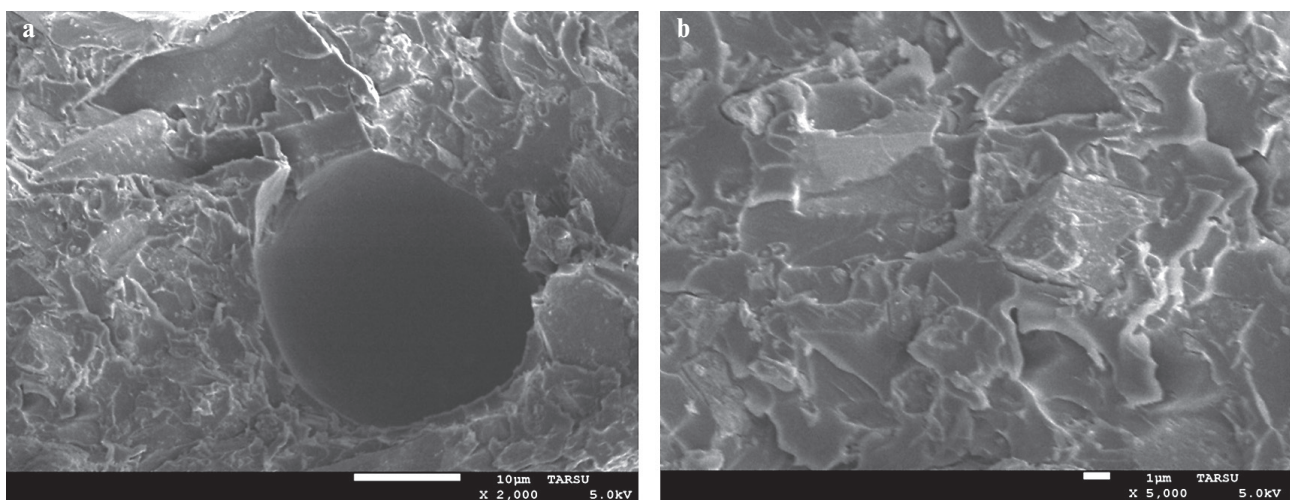


Fig. 4. Ceramics microstructure from the phosphorus slag and bentonite clay composition:
a – calcination temperature 1050°C; b – calcination temperature 1100°C

(1050–1100°C), it is seen that the smallest slag grains are involved in the liquid phase formation. The amount and reactivity of the glass phase increases due to the influence of fluorine-containing components of the slag. As a result, the thickness of the zone between the large slag grains surface and the shells grows and the crystallization of the new phases in the form of wollastonite and anorthite became active in the shell. Furthermore, glass phase viscosity decrease due to calcium ions, a growth in its penetrating ability and the glass phase affinity for slag grains contribute to its spreading over the samples' surface and the vitreous coating formation, which crystallizes upon cooling [14].

Interaction products are observed along the slag grains edges and between them, as well as on their surface.

CONCLUSION

To get high-strength ceramic bricks, the content of coarsely dispersed component in the form of phosphorus slag with a fraction of less than 1.25 mm should amount to 55–65%, finely ground phosphorus slag should be 5–10%, and bentonite clay is to be 30–40%. The most favorable technological parameters are: calcination temperature 1050–1100°C, pressing pressure 20–25 MPa, press powder moisture content 7–8%.

REFERENCES

1. Suvorova O.V., Selivanova E.A., Mikhailova J.A., Masloboev V.A., Makarov D.V. Ceramic products from mining and metallurgical waste. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020; 10 (10): 3515.
2. Poznyak A.I., Levitskii I.A., Barantseva S.E. Production of interior facing tiles using local raw materials. *Glass and Ceramics*. 2012; 69: 77–80.
3. de Figueirêdo J.M.R., Sousa Silva J.R., de Araújo Neves G., Ferreira H.C., de Lima Santana L.N. Influence of processing variables on clay-based ceramic formulations. *Materials Research*. 2019; 22 (3): e20180548.
4. Kadyrova Z.R., Purkhanatdinov A.P., Niyazova S.M. Research of benonite clays of Karakalpakstan for producing ceramic heat-insulating materials. *New Refractories*. 2020; (9): 3–5.
5. Chetverikova A.G., Kanygina O.N., Alpysbaeva G.Z., Yudin A.A., Sokabayeva S.S. Infrared spectroscopy as the method for determining structural responses of natural clays to microwave exposure. *Condensed Matter and Interphases*. 2019; 21 (3): 446–454.
6. Asal S., Erenturk S.A., Hacıyakupoglu S. Bentonite based ceramic materials from a perspective of gamma-ray shielding: Preparation, characterization and performance evaluation. *Nuclear Engineering and Technology*. 2021; 53 (5): 1634–1641.
7. Montayev S., Shakeshev B., Zharylgapov S. Development of a technology for producing ceramic refractory material in a composition of montmorillonite clays (bentonite-like) and ferrochrome production wastes. *MATEC Web of Conferences*. 2020; 315, 07007.
8. Kadyrova Z.R., Purkhanatdinov A.P., Niyazova Sh.M. Karakalpakstan Bentonite Clays – Perspective Raw Materials for Obtaining Ceramic Heat-Insulating Materials. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2020; 9 (8): 417–420.
9. Erdogan Y., Kok O.E. Production and characterization of nanobentonite from Sodifm bentonite with mechanical grinding. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2019; 28 (11): 8141–8150.
10. Kadyrova Z.R., Purkhanatdinov A.P., Niyazova S.M. Study of Karakalpakstan Bentonite Clay for Producing Ceramic Heat-Insulating Materials. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2021; 61 (5): 478–480.
11. Ngoc Lam N. Eco – Concrete made with phosphogypsum-based super sulfated cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 869 (3), 032031.
12. Nguyen V.H., Nguyen V.C., Nguyen T.C., Tran D.M.T., Nguyen T.T.T., Vu Q.T., Nguyen D.T., Thai H. Treatment of Yellow Phosphorus Slag and Reuse of It as an Absorbent of Chromium (VI) Ions and Methylene Blue. *Journal of Chemistry*. 2020; (1): 1–16.
13. Garbaya H., Jraba A., Khadimallah M.A., Elaloui E. The Development of a New Phosphogypsum-Based Construction Material: A Study of the Physicochemical, Mechanical and Thermal Characteristics. *Materials (Basel)*. 2021; 14 (23): 7369.
14. Djobo J.N.Y., Stephan D. Control of the setting reaction and strength development of slag-blended volcanic ash-based phosphate geopolymer with the addition of boric acid. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2021; 57 (4).

15. Najimi M., Ghafoori N., Sharbaf M. Alkali-activated natural pozzolan/slag binders: Limitations and remediation. *Magazine of Concrete Research*. 2020; 72 (18): 919–935.
16. Sarsenbayev N.B., Kurbanliyazov S.K., Saktaganova N.A., Karshygayev R.O. The influence of additives of dehydrated clay on the properties of unburned binders and concrete on their basis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 945 (1), 012048.
17. Kenzhaliyev B.K., Surkova T.Y., Abdikerim B.E., Berkinbayeva A.N., Abikak Y.B., Yessimova D.M. Research on sorption properties of phosphoric production slag-waste. *Metalurgiya*. 2022; 61 (1): 209–212.
18. Tian X., Zhang Y., Zhao F. Mechanism of steel slag-phosphoric acid system regulating the setting performance of phosphogypsum based building gypsum. *Huagong Jinzhan/Chemical Industry and Engineering Progress*. 2021; 40 (8): 4438–4444.
19. Werner V.F., Khudyakova T.M., Sarsenbayev B.K., Kashey A.M., Sauganova G.R. Production of synthetic wollastonite based on phosphoric slag and amorphous silica produced by “solar” silicon. *Materials of the International scientific and Practical online conference dedicated to the 60th anniversary of the Doctor of Technical Sciences, Professor Sayd-Alvi Yusupovich Murtazaev*. 2021; 135–138.
20. Gao P., Lu X., Yang C., Li X., Shi N., Jin S. Microstructure and pore structure of concrete mixed with superfine phosphorous slag and superplasticizer. *Construction and Building Materials*. 2008; 22(5): 837–840.
21. Suleimenov Z.T., Sagyndykov A.A., Kirgizbaev A.T. Ceramic Face Tiles Using Phosphoric Slags. *Glass and Ceramics*. 2016; 73: 62–65.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhusupbek T. Suleimenov – Dr. Sci. (Eng.), Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor of Construction and Materials Production Department, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, ernur.abutalipov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1431-8074>

Aimahambet A. Sagyndykov – Dr. Sci. (Eng.), Professor of Construction and Materials Production Department, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, ernur.abutalipov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1812-5739>

Zhangazi N. Moldamuratov – PhD, Associate Professor of Construction and Materials Production Department, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, zhanga_m_n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>

Gulsara M. Bayaliyeva – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Construction and Materials Production Department, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, bayali@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9897-5740>

Zhanna B. Alimbayeva – engineer of Construction and Materials Production Department, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, alimbayeva.zhanna08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9372-4101>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Suleimenov Zh.T. – scientific leadership; research concept; methodology development; scientific text editing; final results.

Sagyndykov A.A. – the research concept; methodology development; experimental work carrying out; experimental data processing; material accumulation; original text writing; final results.

Moldamuratov Zh.N. – original text writing; final results.

Bayaliyeva G.M. – experimental work carrying out; experimental data processing; original text writing; communication with the journal editors.

Alimbaeva Zh.B. – experimental work carrying out; experimental data processing; material accumulation.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 24.01.2022; approved after reviewing 07.02.2022; accepted for publication 09.02.2022.

Научная статья

УДК 691.42:666.31

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-11-17>

CC BY 4.0

Высокопрочная стеновая керамика на основе фосфорного шлака и бентонитовой глины

Жусупбек Таширбаевич Сулейменов , Аймахамбет Абуталипович Сагындыков* ,
Жангазы Нуржанович Молдамуратов , Гульсара Муратовна Баялиева , Жанна Базартаевна Алимбаева 

Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: ernur.abutalipov98@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. Одним из перспективных способов получения высокопрочной керамики является метод полусухого прессования композиции «грубодисперсный компонент – тонкоизмельченная связка» с использованием в качестве ядра дробленых отходов промышленности, связующим материалом является тонкомолотая наноструктурная легкоплавкая глина. **Методы и материалы.** В исследованиях в качестве пластичного материала использована бентонитовая глина Дарбазинского месторождения Туркестанской области, а непластичного грубодисперсного материала – плотный закристаллизованный фосфорный шлак – отход фосфорного производства. Изучение влияния рецептурных факторов на основные физико-механические свойства керамических стеновых материалов выполняли методом симплекс – решетчатым планированием экспериментов. Методом электронно-микроскопического анализа исследованы наноструктура композиции из фосфорного шлака и бентонитовой глины. **Результаты.** При содержании связки в количестве 25%, гарантирующей плотность упаковок, эффект спекания становится достаточным, и прочность образцов составляет 27,1 МПа. С увеличением количества связки с 25 до 40% эффект спекания продолжает возрастать, и прочность образцов достигает 54,3 МПа. **Обсуждение.** Приведенные результаты показывают, что наиболее активное спекание и формирование плотных структур в грубозернистых композициях с высококальциевым фосфорным шлаком происходит при содержании 40–60% связки. Наличие плавня вокруг зерен шлака в количестве менее 30% способствует получению менее плотных образцов, при содержании 40% связки наблюдается повышение плотности, что соответствует моделированию смешанных структур керамики. **Заключение.** Для получения высокопрочного керамического кирпича содержание грубодисперсного компонента в виде фосфорного шлака фракции менее 1,25 мм должна составлять 60–70 %, тонкомолотого фосфорного шлака 5–10 %, бентонитовой глины 20–30%. Оптимальные технологические показатели: температура обжига 1050–1100°C, давление прессования 20–25 МПа, влажность пресспорошка 7–8%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фосфорный шлак, бентонитовая глина, наноструктура, полусухое прессование, пресс-порошок.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сулейменов Ж.Т., Сагындыков А.А., Молдамуратов Ж.Н., Баялиева Г.М., Алимбаева Ж.Б. Высокопрочная стеновая керамика на основе фосфорного шлака и бентонитовой глины // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 11–17. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-11-17>.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных строительных материалов с разнообразием цветовой гаммы, фактурой и формой, позволяющим повысить качество облицовки зданий и улучшить архитектурный облик застройки, является керамический кирпич [1–3].

В Казахстане увеличивается спрос на высококачественные керамические изделия, такие как: клинкерный, фасадный лицевой кирпич. Ограниченность сырьевой базы качественным глинистым сырьем

сдерживает производство вышеуказанных эффективных материалов. Основным сырьем для производства керамического кирпича являются суглинки, которые относятся к низкопластичному сырью, с коротким интервалом спекания, не позволяющим получать высококачественный кирпич. Максимальная прочность изделий из суглинка, обожженного при температуре 1100°C, не превышает 15 МПа. В этой связи актуальным является переход на полусухой метод прессования с использованием промышленных отходов. Для получения высокопрочных керамических

© Сулейменов Ж.Т., Сагындыков А.А., Молдамуратов Ж.Н., Баялиева Г.М., Алимбаева Ж.Б., 2022

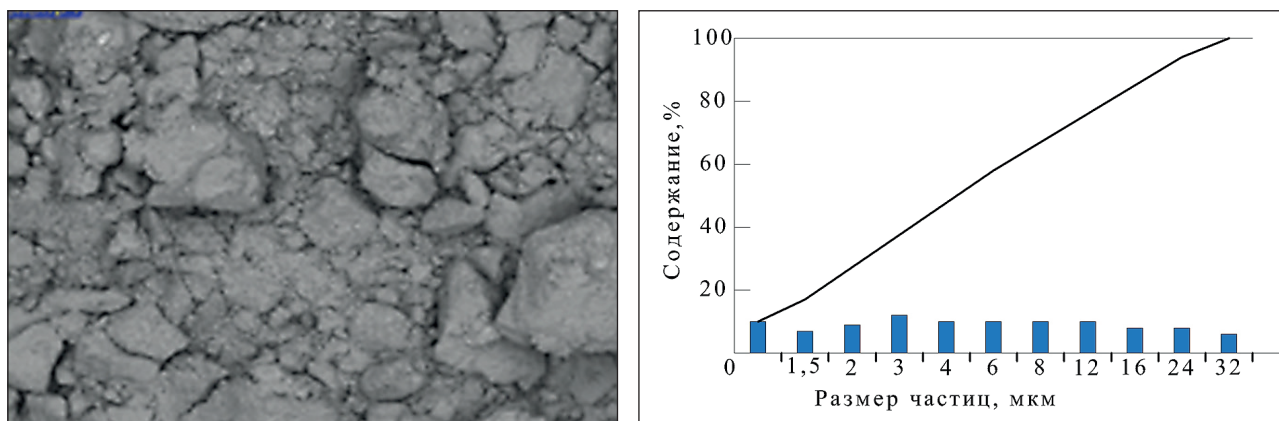


Рис. 1. Микрофотография (а, $\times 100$) и распределение частиц бентонитовой глины по размерам (б):
■ — распределение по фракциям; — — накопительное распределение

материалов представляет интерес использование композиции по типу «грубодисперсный компонент — тонкоизмельченная связка». С такой структурой расход глинистой фракции в составе композиции будет составлять в пределах 25–30%, а в традиционной керамике пластического формования 75–100% [4–6].

В настоящее время внимание исследователей в области керамических строительных материалов все больше привлекает применение наноразмерных глинистых связующих [7, 8].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве пластичного материала для исследуемых керамических масс использовали бентонитовую глину дарбазинского месторождения Туркестанской области, а грубодисперсного материала — плотный закристаллизованный фосфорный шлак.

Бентонит является наноструктурным материалом с высокой удельной поверхностью, обладающей свойством самодиспергации, которая способствует связыванию большого количества непластичного материала. Общеизвестно, что глинистый минерал монтмориллонит состоит из трехэтажных пакетов. Измельченные частицы фосфорного шлака, распо-

лагаясь в межпакетном слое монтмориллонита, образуют прочные структуры [4, 6, 8, 9].

Определение гранулометрического состава бентонита (рис. 1) показало, что высокодисперсный порошок равномерно распределен по фракциям от 1 до 32 мкм, с преимущественным распределением в интервале от 1 до 12 мкм. Частицы образуют агрегаты неправильной формы [10].

В табл. 1 приведен химический состав глины и фосфорного шлака.

Шлак характеризуется повышенным содержанием оксида кальция (47,5%), а также наличием пятиоксида фосфора и фтористых соединений до 4,1%, которые обладают флюсующим действием и способствуют снижению температуры обжига керамических материалов. В глине кроме основных оксидов кремния, алюминия, железа присутствуют легкоплавкие оксиды CaO, MgO, Na₂O и K₂O [11–13].

По числу пластичности (38–40) она относится к высокопластичной, по содержанию глинистых частиц (62,5%) — к высокодисперсным, по показателю огнеупорности — к легкоплавким глинам (1250°C).

Фазовый состав бентонитовой глины характеризуется наличием кварца ($d = 0,335; 0,425$ нм), иллита ($d = 0,319; 0,256$ нм), биотита ($d = 1,000; 0,353$ нм),

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Сырье	Состав, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	F + P ₂ O ₅	потери при прокаливании
Бентонитовая глина	60,51	16,06	6,43	1,27	2,23	2,41	2,8	1,3	—	8,7
Фосфорный шлак	41,3	2,8	0,4	47,5	1,2	0,3	0,1	0,6	4,1	0,2

монтмориллонита ($d = 0,950; 0,225$ нм), каолинита ($d = 0,709$ нм). Карбонатные включения представлены кальцитом ($d = 0,303; 0,228$ нм). Также присутствуют калиевый полевой шпат и ферритные фазы. Содержание монтмориллонита составляет 80–85% [14–16].

Фосфорный шлак Таразского фосфорного завода представляет собой плотную, закристаллизовавшуюся массу, которая плавится при температуре 1320–1350°C. Фазовый состав фосфорного шлака представлен, главным образом, волластонитом и куспидином [17, 18].

Образцы для стенового керамического кирпича изготавливали следующим образом. Шлак подвергали дроблению и просеву через сито 1,25 мм. Для получения связки шлак и глину подвергали помолу в шаровой мельнице до полного прохождения через сито 0,063 мм. Гранулы шлака размером менее 1,25 мм подвергали увлажнению до достижения влажности 8%, затем на их поверхность наносили связку. Подготовленный пресс-порошок засыпали в форму и подвергали прессованию при давлении 15–25 МПа. Прочность отформованного сырца составляет 0,35–0,4 МПа, которая удовлетворяет требованиям работы автомата укладчика. Процесс спекания композиции исследовали на образцах кубах размером 50х50х50 мм. Сушку образцов производили при максимальной температуре 105°C в течение 3 часов, обжиг осуществляли в муфельной электропечи при температуре 1050–1100°C с изотермической выдержкой 30 мин [19–21].

С целью определения оптимального соотношения ядра и оболочки проведено моделирование структур при соотношении 5, 10, 20. Количество вещества оболочки изменялось от 20 до 50%. Размер агрегатов ядра изменяли от 0,5 до 1,25 мм, толщину оболочки – от 0,05 до 0,3 мм. Наиболее прочные структуры были получены при соотношении их размеров, равном 10–20.

В технологии полусухого прессования важно установить максимальные размеры зерен грубодисперсного компонента. Для этого рассчитывали температурные напряжения на границах зерен согласно формуле У.Д. Кингери [7]:

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(\frac{V_1 E_1}{1 - \mu_1} \right) \cdot \left(\frac{V_2 E_2}{1 - \mu_2} \right)}{\left(\frac{V_1 E_1}{1 - \mu_1} \right) + \left(\frac{V_2 E_2}{1 - \mu_2} \right)} \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta T \cdot d, \quad (1)$$

где σ – напряжение в контактном слое, МПа; E_1 и E_2 – модули упругости, МПа; μ_1 , μ_2 – коэффициенты Пуассона; $\Delta \alpha$ – разность температурного коэффициента линейного расширения фаз; ΔT – температурный интервал, в котором возникают

напряжения; d – размер зерен; V – объемные доли контактирующих фаз.

Из анализа изменения развивающегося на границах зерен термических напряжений были выбраны максимальные размеры зерен шлака (1,25 мм).

Исследования микроструктуры образцов керамики были проведены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM7500 с приставкой рентгено-спектрального анализа [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение влияния рецептурных факторов на основные физико-механические свойства керамических стеновых материалов выполняли методом симплекс – решетчатого планирования экспериментов с использованием в качестве математической модели свойств неполной кубической модели вида [21]:

$$Y = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 xy + A_5 xz + A_6 yz + A_7 xyz + A_8 xy(x-y) + A_9 xz(x-z) + A_{10} yz(y-z). \quad (2)$$

В качестве функций отклика Y исследовали предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{изг}$), усадку (U , %) и водопоглощение (W , %).

В качестве сырьевых материалов для получения керамического кирпича были использованы:

X_1 – содержание фосфорного шлака фракции менее 1,25 мм, 55–70%;

X_2 – содержание тонкоизмельченной бентонитовой глины, 25–40%;

X_3 – содержание тонкоизмельченного фосфорного шлака, 5–20%.

Матрица планирования эксперимента приведена в табл. 2.

Фигуративные точки составов связующих на основе шлака и глины находятся в диаграмме состояния $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ и расположены в области треугольника анортит–волластонит–кварц с эвтектикой при температуре 1165°C.

Уравнение регрессии зависимости прочности при сжатии керамического кирпича от состава шихты имеет вид:

$$R_c = 27,1x_1 + 54,3x_2 + 49,7x_3 - 17,1x_1x_2 + 18,225x_1x_3 - 61,875x_2x_3 + 315x_1x_2(x_1-x_2) + 400,275x_1x_3(x_1-x_3) + 282,375x_2x_3(x_2-x_3) + 228,15x_1x_2x_3. \quad (3)$$

Содержание глины в количестве 25% гарантирует плотность упаковок, эффект спекания становится достаточным, и прочность образцов составляет 27,1 МПа (рис. 2, в). С увеличением количества глины с 25 до 40% эффект спекания продолжает возрастать, и прочность образцов достигает 54,3 МПа.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ состава	Содержание компонентов, %			Свойства			
	Фосфорный шлак фракции менее 1,25 мм, %	Бентонитовая глина, %	Фосфорный шлак тонко измельченный, %	U, %	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	W, %
	X_1	X_2	X_3				
1	70	25	5	0,9	26,1	2,8	13,8
2	55	40	5	1,9	54,3	4,7	5,2
3	55	25	20	1,6	36,7	3,6	8,2
4	65	30	5	1,2	32,3	3,4	11,8
5	60	35	5	1,6	51,5	3,7	10,4
6	65	25	10	1,4	30,8	3,2	11,8
7	60	25	15	1,5	34,7	3,7	11,2
8	55	35	10	1,1	45,3	3,6	7,4
9	55	30	15	1,2	38,6	3,7	8,6
10	60	30	10	1,4	43,4	3,9	10,9

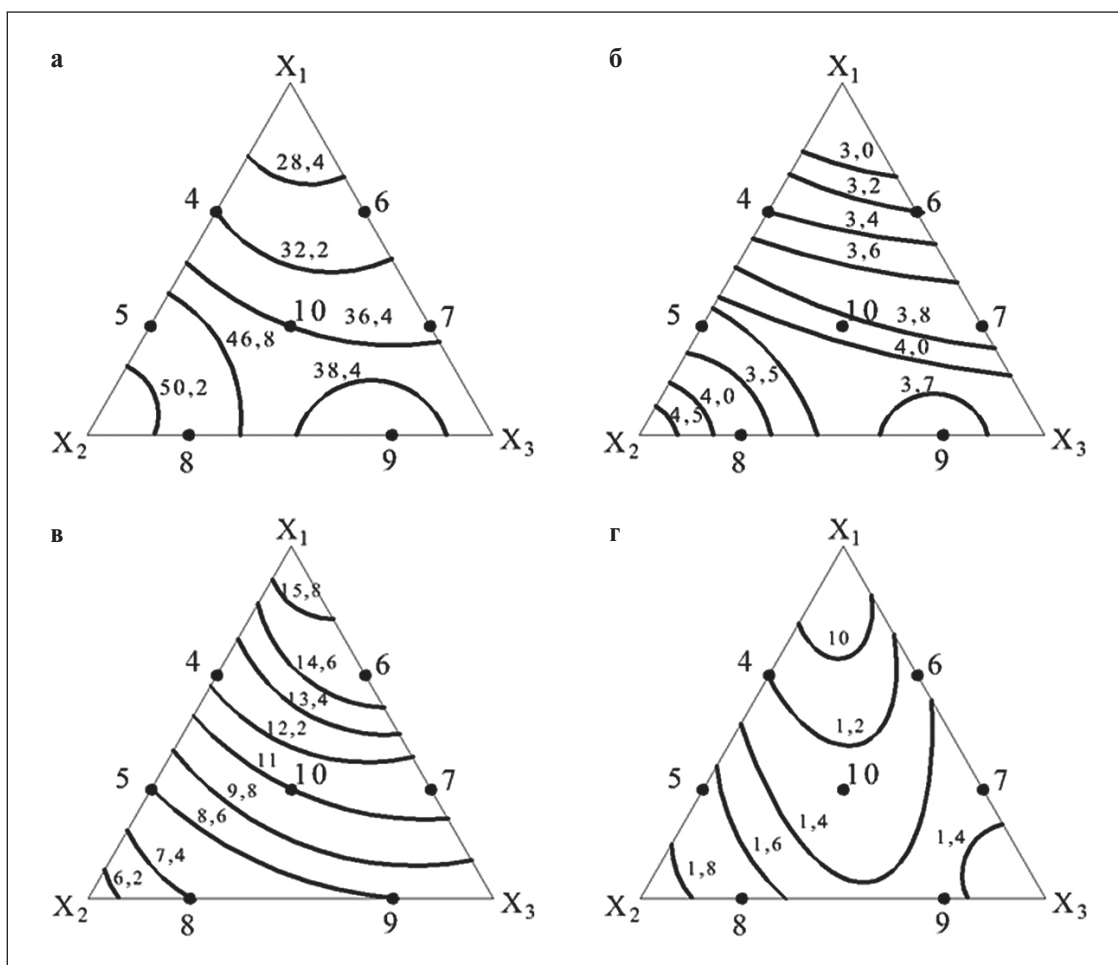


Рис. 2. Линии равных значений изменения свойств высокопрочной керамики: а – предел прочности при сжатии; б – предел прочности изгибе; в – водопоглощение; г – усадка

Согласно полученным диаграммам «состав-свойство» (рис. 2 а, б, в, г), керамические кирпичи имеют малую усадку (0,9–1,6%), водопоглощение (7,4–12,1%), высокий показатель прочности при изгибе (2,8–4,7 МПа).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что наиболее активное спекание и формирование плотных структур в грубозернистых композициях с высококальциевым шлаком происходит при содержании 35–45% связки и соотношений ядра и оболочки 10–20 в соответствии с моделированием смешанных структур керамики [17–19].

Согласно термодинамическим расчетам в процессе обжига в температурах 400, 800 и 1000°C наиболее вероятно образование анортита ($\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), кварца и волластонита, т.е. фаз с наибольшими отрицательными значениями свободной энергии Гиббса (ΔZ), не изменяющимися плотностями в процессе синтеза и способствующими увеличению прочности кирпича.

Создание каркасной структуры было обеспечено за счет применения полифракционного состава (фосфорного шлака) и связки из тонкомолотых бентонита и фосфорного шлака.

На рис. 3 приведены модели каркасной структуры составных элементов (кристаллического каркаса и связки) материала.

Структура образцов из композиций зернистого шлака со связками является наиболее ярко выраженным вариантом структур по типу «ядро – оболочка» (рис. 4 а, б). А характер структур шлака со связками наиболее четко отражает процесс их формирования. По структуре образцов видно, что связка образует оболочки вокруг крупных и расположенных между ними средних и мелких зерен шлака. Видно, что оболочки взаимодействуют с поверхностью зерен с образованием кристаллических фаз волластонита и анортита. Взаимодействие оболочки с зерном протекает очень активно, от поверхности зерна шлака к оболочке образуется достаточно заметная переходная зона как результат этого взаимодействия. Образование переходной зоны обуславливает согласованность шлакового зерна с оболочкой. Поэтому прочность образцов высокая и составляет 49–54,3 МПа при сжатии и 4,3–4,7 МПа при изгибе [15].

Из структуры плотно спеченных образцов, достигнутой использованием максимального (40%) количества глины в связке и после обжига при более высокой температуре (1050–1100°C), видно, что мельчайшие зерна шлака вовлекаются в процесс образования жидкой фазы. Повышается количество и реакционная способность стеклофазы за счет влияния фторсодержащих компонентов шлака. Это выражается в увеличении толщины промежуточной зоны от поверхности крупных зерен шлака к оболочкам вокруг них, в активизации

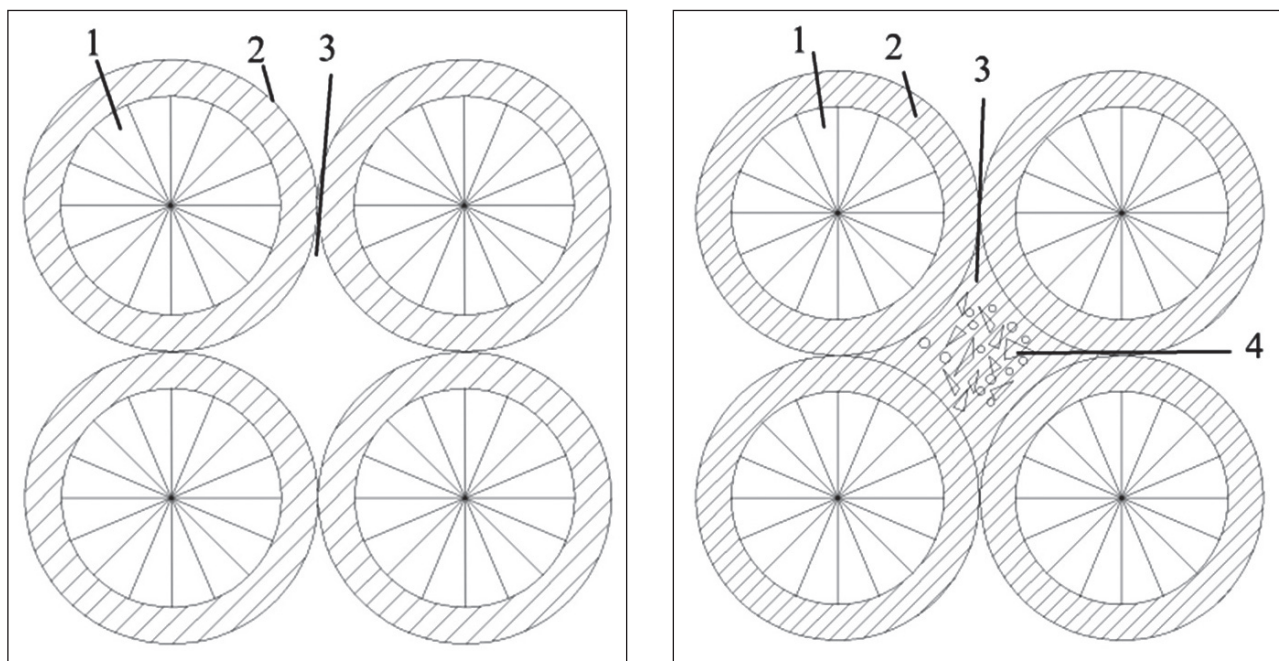


Рис. 3. Модель каркасной структуры керамических материалов по типу «ядро – оболочка»:

1 – гранула шлака; 2 – связующее; 3 – поры; 4 – связующее и кристаллы волластонита и анортита

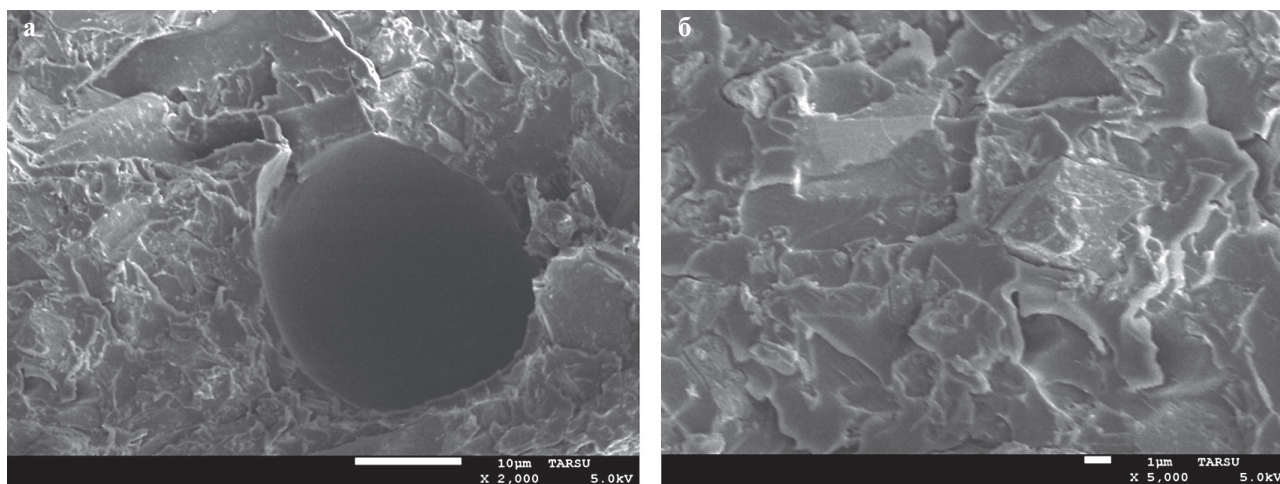


Рис. 4. Микроструктура керамики из композиции фосфорного шлака и бентонитовой глины:
а – температура обжига 1050°C; б – температура обжига 1100°C

кристаллизации новых фаз в виде волластонита и анортита в оболочке. Кроме того, понижение вязкости стеклофазы за счет кальциевых ионов, увеличение ее проникающей способности и сродство стеклофазы с зернами шлака способствуют ее растеканию по поверхности образцов и образованию стекловидного покрытия, которое при охлаждении кристаллизуется [14].

По краям зерен шлака и между ними, а также на их поверхности наблюдаются продукты взаимодействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для получения высокопрочного керамического кирпича содержание грубодисперсного компонента в виде фосфорного шлака фракции менее 1,25 мм должно составлять 55–65%, тонкомолотого фосфорного шлака – 5–10%, бентонитовой глины – 30–40%. Оптимальные технологические показатели: температура обжига – 1050–1100°C, давление прессования – 20–25 МПа, влажность пресспорошка – 7–8%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Suvorova O V., Selivanova EA, Mikhailova JA, Masloboev VA, Makarov D V. (2020) Ceramic products from mining and metallurgical waste. Appl Sci. <https://doi.org/10.3390/app10103515>
2. Poznyak AI, Levitskii IA, Barantseva SE (2012) Production of interior facing tiles using local raw materials. Glas Ceram (English Transl Steklo i Keramika) 69:77–80
3. de Figueirêdo JMR, Sousa Silva JR, de Araújo Neves G, Ferreira HC, de Lima Santana LN (2019) Influence of processing variables on clay-based ceramic formulations. Mater Res. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0548>
4. Kadyrova ZR, Purkhanatdinov AP, Niyazova SM (2020) Research of benonite clays of Karakalpakstan for producing ceramic heat-insulating materials. NOVYE OGNEUPORY (NEW Refract. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2020-9-4-7>
5. Chetverikova A.G., Kanygina O.N., Alpysbaeva G.Z., Yudin A.A., Sokabayeva S.S. Infrared spectroscopy as the method for determining structural responses of natural clays to microwave exposure. *Condensed Matter and Interphases*. 2019; 21 (3): 446–454.
6. Asal S, Erenturk SA, Hacıyakupoglu S (2021) Bentonite based ceramic materials from a perspective of gamma-ray shielding: Preparation, characterization and performance evaluation. Nucl Eng Technol. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.11.009>
7. Montayev S, Shakeshev B, Zharylgapov S (2020) Development of a technology for producing ceramic refractory material in a composition of montmorillonite clays (bentonite-like) and ferrochrome production wastes. MATEC Web Conf. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202031507007>
8. (2020) Karakalpakstan Bentonite Clays - Perspective Raw Materials for Obtaining Ceramic Heat-Insulating Materials. Int J Innov Technol Explor Eng. <https://doi.org/10.35940/ijitee.f3821.069820>
9. Erdogan Y, Kok OE (2019) Prodftction and characterization of nanobentonite from Sodifm bentonite with mechanical grinding. Fresenius Environ. Bull. 28:

10. Kadyrova ZR, Purkhanatdinov AP, Niyazova SM (2021) Study of Karakalpakstan Bentonite Clay for Producing Ceramic Heat-Insulating Materials. *Refract Ind Ceram.* <https://doi.org/10.1007/s11148-021-00528-1>
11. Ngoc Lam N (2020) Eco – Concrete made with phosphogypsum-based super sulfated cement. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/3/032031>
12. Nguyen VH, Nguyen VC, Nguyen TC, Tran DMT, Nguyen TTT, Vu QT, Nguyen DT, Thai H (2020) Treatment of Yellow Phosphorus Slag and Reuse of It as an Absorbent of Chromium (VI) Ions and Methylene Blue. *J Chem.* <https://doi.org/10.1155/2020/1834829>
13. Garbaya H, Jraba A, Khadimallah MA, Elaloui E (2021) The Development of a New Phosphogypsum-Based Construction Material: A Study of the Physicochemical, Mechanical and Thermal Characteristics. *Materials (Basel).* <https://doi.org/10.3390/ma14237369>
14. Djobo JNY, Stephan D (2021) Control of the setting reaction and strength development of slag-blended volcanic ash-based phosphate geopolymer with the addition of boric acid. *J Aust Ceram Soc.* <https://doi.org/10.1007/s41779-021-00610-4>
15. Najimi M, Ghafoori N, Sharbaf M (2020) Alkali-activated natural pozzolan/slag binders: Limitations and remediation. *Mag Concr Res.* <https://doi.org/10.1680/jmacr.18.00184>
16. Sarsenbayev NB, Kurbaniyazov SK, Saktaganova NA, Karshygayev RO (2020) The influence of additives of dehydrated clay on the properties of unburned binders and concrete on their basis. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* <https://doi.org/10.1088/1757-899X/945/1/012048>
17. Kenzhaliyev BK, Surkova TY, Abdikerim BE, Berkinbayeva AN, Abikak YB, Yessimova DM (2022) Research on sorption properties of phosphoric production slag-waste. *Metalurgija 61:*
18. Tian X, Zhang Y, Zhao F (2021) Mechanism of steel slag-phosphoric acid system regulating the setting performance of phosphogypsum based building gypsum. *Huagong Jinzhan/Chemical Ind Eng Prog.* <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2020-2019>
19. Вернер ВФ, Худякова ТМ, Сарсенбаев БК, Шакей АМ, Сауғанова ГР (2021) PRODUCTION OF SYNTHETIC WOLLASTONITE BASED ON PHOSPHORIC SLAG AND AMORPHOUS SILICA PRODUCED BY “SOLAR” SILICON. <https://doi.org/10.34708/gstou.conf..2021.54.99.031>
20. Gao P, Lu X, Yang C, Li X, Shi N, Jin S (2008) Microstructure and pore structure of concrete mixed with superfine phosphorous slag and superplasticizer. *Constr Build Mater.* <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.12.015>
21. Suleimenov ZT, Sagyndykov AA, Kirgizbaev AT (2016) Ceramic Face Tiles Using Phosphoric Slags. *Glas Ceram (English Transl Steklo i Keramika).* <https://doi.org/10.1007/s10717-016-9826-7>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сулейменов Жусупбек Таширбаевич – доктор технических наук, академик НАН РК, профессор кафедры «Строительство и производство материалов», Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан, ernur.abutalipov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1431-8074>

Сагындыков Аймахамбет Абуталипович – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство и производство материалов», Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан, ernur.abutalipov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1812-5739>

Молдамуратов Жангазы Нуржанович – PhD, доцент, заведующий кафедрой «Строительство и производство материалов», Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан, zhanga_m_n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>

Баялиева Гульсара Муратовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и производство материалов», Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан, bayali@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9897-5740>

Алимбаева Жанна Базартаевна – инженер кафедры «Строительство и производство материалов», Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан, alimbayeva.zhanna08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9372-4101>

ВКЛАД АВТОРОВ

Сулейменов Ж.Т. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; научное редактирование текста; итоговые выводы.

Сагындыков А.А. – концепция исследования; развитие методологии; проведение экспериментальной работы; обработка экспериментальных данных; сбор материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Молдамуратов Ж.Н. – написание исходного текста; итоговые выводы.

Баялиева Г.М. – проведение экспериментальной работы; обработка экспериментальных данных; написание исходного текста; работа с редакцией журнала.

Алимбаева Ж.Б. – проведение экспериментальной работы; обработка экспериментальных данных; сбор материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.01.2022; одобрена после рецензирования 07.02.2022; принята к публикации 09.02.2022.

Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part I

Leonid A. Ivanov^{1*} , Li D. Xu² , Elena S. Bokova³ , Aleksandr D. Ishkov⁴ , Oksana N. Borisova⁵ 

¹ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

² Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA

³ A.N. Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Moscow, Russia

⁴ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

⁵ Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, 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 article provides an abstract overview of inventions of scientists, engineers and specialists from different countries: Germany, Iraq, China, Russia, USA, Ukraine, Sweden, Japan et al. The results of the creative activity of scientists, engineers and specialists, including inventions in the field of nanotechnology and nanomaterials allow, when introduced to industry, achieving a significant effect in construction, housing and communal services, and related sectors of the economy. For example, the invention «Nanomodified building mortar» refers to construction materials and can be used in masonry of ceramic stones, ceramic bricks, hollow bricks in dry and hot climate. The novelty, in respect to the existing construction mortars, is the combination of known components of Portland cement, sand for construction works, amorphous nanomodified silica dioxide, superplasticizer C-3, cure retarders of Portland cement, air-entraining resin. The given qualitative and quantitative composition of nanomodified construction mortar makes it possible to obtain the mentioned mixtures in a simple way: for example, in gravity mixer, with evenly distributed components in volume, which is characterized with specified flowability, water-retaining property, controlled hardening period and can be used in dry and hot climate with air temperature up to 40–50°C. The following inventions in the field of nanotechnology can also be interesting for specialists: a composition of self-compacting construction concrete on the basis of cement matrix, a method of producing polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide, a method of producing porous moulded article in the form of insulation plaster layer, a method to obtain amorphous nanostructured diamond-like coating, a method of cement surface modification, a system to produce carbon nanotubes, et al. **Conclusion.** One of the most challenging tasks the economy of every country faces is to increase industrial competitiveness through technological upgrade. From the side of the state and companies the principal object to control in this process are the people and enterprises dealing with introduction of inventions and new technologies.

KEYWORDS: nanotechnologies in construction, nanomodified building mortar, nanostructured coating, nanotube, nanocomposite film.

FOR CITATION: Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Borisova O.N. Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part I. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 18–26. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-18-26>.

INTRODUCTION

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

MAIN PART

Nanomodified building mortar (RU 2759479 C1)

The invention refers to construction materials and can be used in masonry of ceramic stones, ceramic bricks, hollow bricks in dry and hot climate [1]. One of the most challenging problems in masonry made of ceramic bricks in dry and hot climate is to provide flowability and water-

retaining property of the mortar under air temperature more than 20°C and up to 40–50°C. Heated brick intensively absorbs water from the mortar that leads to increase of work labour input due to decrease of mortar flowability.

The task of the technical solution is to obtain building cement and sand mortar which is characterized by specified flowability, water-retaining property, controlled setting time and can be used in dry and hot climate with air temperature up to 40–50°C. The technical result is the increased water-retaining ability, provision of specified flowability and controlled setting time of building mortar. The technical result is achieved due to the following technology: building mortar comprising Portland cement, construction sand with fineness modulus 1.5–2.0, water, additionally contains amorphous nanomodified silica dioxide, superplasticizer C-3, cure retarders of Portland cement, air-entraining resin under the following ratio of components, mass.%: Portland cement – 10.80–16.90; sand for construction works – 69.50–80.70; amorphous nanomodified silica dioxide – 0.01–0.12; cure retarders of Portland cement – 0.002–0.05; superplasticizer C-3 – 0.02–0.15; air-entraining resin – 0.02–0.15; water – 8.5–13.0.

The novelty, in respect to the existing construction mortars, is the combination of known components of Portland cement, sand for construction works, amorphous nanomodified silica dioxide, superplasticizer C-3, cure retarders of Portland cement, air-entraining resin. The given qualitative and quantitative composition of nanomodified construction mortar makes it possible to obtain the mentioned mixtures in a simple way: for example, in gravity mixer, with evenly distributed components in volume, which is characterized with specified flowability, water-retaining property, controlled hardening period and can be used in dry and hot climate with air temperature up to 40–50°C.

A new property emerges in the applied set of features: increased water-retaining ability and, at the same time, provision of specified flowability and controlled setting time of building mortar.

A composition of light self-compacting construction concrete on the basis of cement matrix (RU 2758050 C1)

The invention refers to the industry of building materials and can be used in civil and industrial construction as well as in construction of special facilities. The aim of the invention is to obtain light self-compacting construction concrete (LCC) of high strength, high frost-resistance, low product cost and low thermal conductivity.

The suggested composite material is a light concrete with high thermal performance. The result is achieved due to applying light cube-like filler with many closed pores that provide high heat-insulating effect and low

density of the final product as well as high adhesion with binding material. When density and thermal conductivity are low, the concrete possesses high strength that is provided by creating high-strength cement matrix in concrete due to rational packing of components and formation of strong chemical bounds. The proposed concrete allows constructing multi-storey buildings with high thermal performance and strength characteristics, which meet modern requirements [2].

A composition for production of self-compacting construction concrete contains mechanically activated Portland cement, foamed glass ceramic granules, rheology active stone dust, water-retaining additive, micro- and nanosilica, polyfunctional modifier on the polycarboxylate basis, water, in the following ratio of components, mass.%: mechanically activated Portland cement 15–25, polyfunctional modifier 1–2.5, rheology active stone dust 10–25, water-retaining additive 0.003–0.02, micro- and nanosilica 1.5–7, foamed glass ceramic granules, 30–50, water – the rest.

The technology of the given composition includes the following stages: mechanical activation of Portland cement jointly with polyfunctional modifier on the polycarboxylate basis and micro- and nanosilica, dosage of dry components, water, mixing till formation of completely streak free, formation of products and curing for 28 days until to the moment when maximum strength is obtained.

A method of producing porous moulded article in the form of insulation plaster layer (RU 2721612 C1)

The invention refers to porous moulded articles in the form of insulation plaster layer or isolation slab, to the methods of producing such porous moulded articles and to the mortar mixes used in production of these porous moulded articles. It is known that when applying layers of insulation plaster and when producing heat-insulating slabs, highly flammable materials, such as Styrofoam or roamed polyurethane, are often used. The great disadvantage of these materials is their high flammability.

The given invention is aimed at solving the problem concerning development of insulation materials on the basis of mineral light fillers. These materials could be flexible and, at the same time, would possess better fire-resistant properties [3].

The features of the method to produce porous moulded article in the form of insulation plaster layer: the layer contains either closed-porous or open-porous or mixed-porous hollow bodies of inorganic materials and the binder is composite particles which contain at least one organic polymer as organic polymer phase and at least one inorganic solid body, which particles are distributed in organic polymer phase, at this, mass fraction of inorganic solid substance is from 15 to 50 mass.% expressed in terms of total mass of organic polymer and inorganic

solid substance in composite particle, closed-porous or open-porous or mixed-porous hollow bodies of inorganic materials taken in quantity from 10 to 50 mass.%, composite particles taken in quantity from 5 to 20 mass.%, fillers taken in quantity from 40 to 80 mass.%, mineral binders and/or polymer binders taken in quantity from 0 to 20 mass.% and, if necessary, extra additives taken in quantity from 0,1 to 10 mass.%, in each case expressed in terms of total mass of dry mixture without water, at this, in each case summarized values mentioned in mass.% are equal to 100 mass.%, then water is added and obtained solution is applied on the substrate. The invention is developed in depending claims. The technical result is the production of insulation material with flexible and, at the same time, improved fire-resistant properties.

A method of cement surface modification (RU 2715276 C1)

The invention refers to production of building materials, in particularly, to cement production. The task of the invention is to improve quality of cement, to prolong time of its caking, to decrease specific surface by correcting granulometric composition and, as a result, to decrease its water demand [4].

The essence of the invention is that the method of cement surface modification, comprising cement processing, also comprises bipolar charging of cement in electrization chamber under impact of high-voltage electric field of crown discharge, bipolar charging is performed by passing the first half of aerosol flow through positive unit of charging station, and the second half of aerosol flow – through negative unit charging station, then unipolar charged particles get to the agglomerator with varying high-voltage electric field.

The method is performed in the following way (fig. 1). Under impact of electric field, which is generated in the chamber of particle electrization 1 in the first section between crown negative 4 and outer collecting positive 6 electrodes, the initial mineral elements adsorb ions from interelectrode space and get negative charge. The similar process between the electrode with positive charge 5 and negative one 7 runs in the second section, but mineral elements get positive charge. As a result, further bipolar charged mineral dispersed elements get into agglomerator 2, in which under the impact of high-voltage varying electric field 9, variations with different amplitude and frequency take place. Coarse particles are oscillated with higher amplitude and frequency than fine particles, gradient of frequency and amplitude of variations provides increase of particle interference frequency, that leads to formation of spheroidal cement 8. Ground bed is made by means of electrode 10.

The technical result is the prolonged time of cement caking, decreased amount of «free» high-dispersed par-

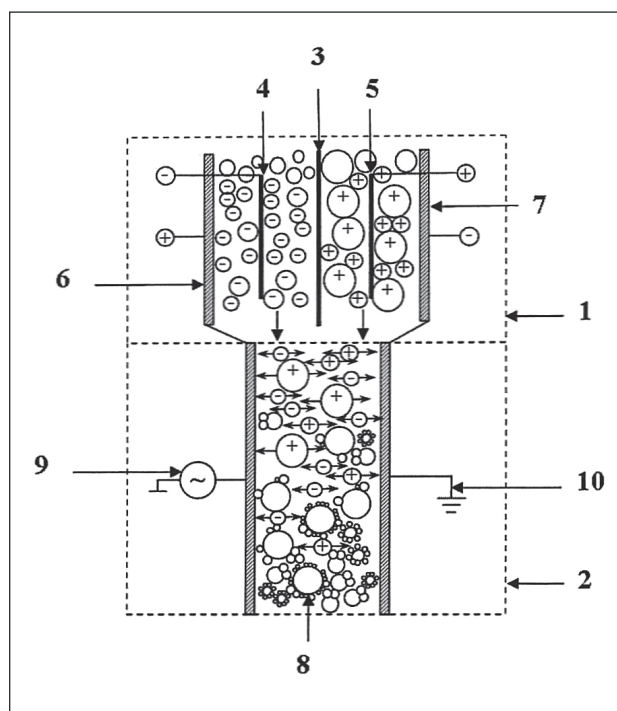


Fig. 1. A plant for surface modification of mineral dispersed elements:

- 1 – particle electrization chamber; 2 – agglomerator;
- 3 – separation of dielectric material; 4 – crown electrode; 5 – electrode with positive potential; 6 – outer collecting electrode; 7 – negative electrode; 8 – spheroid cement; 9 – high-voltage varying electric field; 10 – electrode by which ground bed is performed.

ticles (diameter is less than 3 μm), decreased coarseness of «spheroids» surface and specific surface due to correction of granulometric composition, as well as slower hydration of cement at the early stages, that improves flowability of concrete mixtures, prepared on the basis of such «spheroid» cement, and, as a result, its water demand falls (water-cement ratio is decreased by 6–8%). When superplasticizers are implemented in concrete mixtures, their adsorption per unit of cement surface also decreases (up to 20%).

Multilayer wear-resistant coating on the steel substrate (RU 2759163 C1)

The modern machinery industry is widely using the tools and the details of mechanical systems, on the working surface of which protective wear-resistant nanostructured coatings are applied. Application of protective coatings on processing tools and equipment parts significantly prolongs their service life. Moreover, metals and alloys can be destroyed also by corrosion, for example, after chemical, electrochemical, radiation and other types of environment impacts. When equipment is operating, the

processes of corrosion and mechanical wear can run simultaneously, for example, that happens with pumps, mixers, male screws, etc. Therefore, wear- and corrosion-resistant coating are badly needed.

Diamond-like carbon coatings (DCC) are well-known due to their capability to provide, low friction, high wear-resistance and high thermal conductivity. Owing to low friction coefficient and high hardness, they are used in tribology as a protection from abrasive and frictional wear. Nevertheless, their high hardness and high inner stresses often lead to weak adhesion with steel substrates, that is a problem for many high technological industries. Hard, dense DCC are also used to protect metal substrates from corrosion in different chemically aggressive media. However, residual nanopores and defects in coating are the initial sources of corrosion, which causes emergence of defect network in DCC that is a channel of corrosion impact on the substrate under the coating from environment.

The mentioned technical problems can be solved by designing technical solution as follows. The wear-resistant multilayer coating on steel substrate which contains a nanocomposite layer, comprising carbon, and a layer of diamond-like carbon, with interchange of the given two layers, according to the invention, in this coating, a diamond-like carbon layer is hydrogenized, precipitated by PACVD method, and a nanocomposite layer obtained with combined method of physical precipitation from vapor (PVD method) and plasma-chemical precipitation from gas phase (PACVD method) includes chrome, aluminum and their compound with carbon [5]. At this, the total content of chrome in nanocomposite layer is 30–35 at. %, aluminum – 50–52 at. %, carbon – 13–18 at. % and the rest is oxygen. The coating is performed with thickness 800–2500 nm with amount of the mentioned layers from 20 to 50 and the thickness of each layer is from 40 to 50 nm.

The invention can be used in metal processing, mechanical engineering, oil and gas industry, chemical industry, etc. to improve performance characteristics of the units exposed to various performance conditions.

A method of producing polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide (2758150 C1)

The task of the invention is to develop a method of producing polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide with better efficiency of conversion of laser light power into photoelectric current [6].

The essence of the invention is that, compared to the known method of producing polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide in which sequential application of layers of selenium and copper on dielectric substrate, oriented perpendicular to current

of sprayed particles, is performed with vacuum-thermal spraying method under room temperature, the obtained nanocomposite film is annealed in vacuum under the temperature in the range 120–217°C

The technical result is the increased efficiency of conversion of laser light power into photoelectric current in polarization-sensitive nanofilm on the basis of copper selenide.

The method of producing polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide is performed as follows. Under the room temperature the layers of selenium and copper are sequentially applied on the dielectric substrate by the method of vacuum-thermal spraying in a single vacuum cycle. At this, the substrate is oriented perpendicular to the current of spraying particles. Hot vapors and clusters of copper, reaching low-melting layer of selenide, react with it, that resulted in emergence of semitransparent electrical conductive polarization-sensitive nanocomposite film on the surface of substrate. This nanofilm consists of polycrystalline copper selenide and amorphous selenium. The obtained nanocomposite film is annealed in vacuum, that causes crystallization of amorphous selenium and coarsening of crystallites of copper selenide, that results in increase of efficiency of conversion of laser light power into photoelectric current.

In the experiments, formation of polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide was performed by the method of vacuum-thermal spraying on rectangular quartz substrate which size is 17.5×34.5 mm. Along short sides of the substrate two parallel thin-film measuring electrodes which wideness is 5 mm were preliminary applied. In the course of spraying, the substrate was under room temperature and was at the distance of 0.12 m from evaporator plant perpendicular to motion direction of sprayed particles. The ratio of selenium and copper preforms in the evaporator was 19:5. The thickness of the final film was 130 nm and resistance to the direct current between measuring electrodes was 37.2 O.

The annealing of the experimental sample is performed under the temperature 150°C for 30 minutes. The resistance to the direct current current between measuring electrodes in the annealed film was 25.7 O.

A method of obtaining ethenyl wallpapers with bactericidal coating (RU 2758770 C1)

The invention refers to the methods of obtaining ethenyl wallpapers with bactericidal coating, protecting from emergence of bacteria and fungus on the surfaces of paper-overlaid articles and it also makes possible to eliminate pathogenic microorganisms from room air and to repress their birth process. The invention can be used to disinfect surfaces and air rooms, especially, in public places and medical centers [7].

It is known that one of the options to solve disinfection problem for surfaces and room air, in particular, in public places and medical centers, can become application of wallpapers with bactericidal coating on the basis of aqueous paints with nanosize particles of silver, copper or gold with increased biocide activity. These wallpapers can protect from emergence of bacteria and fungus on the surfaces of paper-overlaid articles and it also makes possible to eliminate pathogenic microorganisms from room air and to repress their birth process.

The proposed method comprises some existing technical methods as stages but the new result is achieved, namely, wallpapers with bactericidal coating possessing high and long bactericidal activity in respect to stocks of different microorganisms. The task of the given invention is to develop a method of obtaining ethenyl wallpapers with bactericidal coating, possessing high and long bactericidal activity in respect to stocks of different microorganisms which are pathogenic for mammals and human, and these wallpapers should be applicable in production and utility rooms, kindergartens and medical centers, public places, etc.

The set task is solved as follows. The considered method of obtaining ethenyl wallpapers with bactericidal coating consists of these stages:

1. Obtaining of antibacterial agent, which is silver nanoparticles on carbon matrix, by spraying composite electrode in plasma of electric arc charge of direct current in inert gas under pressure 1–500 torr, discharge current 100–300 A and voltage on discharge 15–35 V of composite electrode which is a graphite core. The mixture of silver and graphite dusts, in which silver content is from 1 to 100 mass.% is pressed into drilled hole of the graphite core.

2. Obtaining of biocide suspension by performing the following steps:

- introduction of silver nanoparticles on carbon matrix into basic liquid in such a way to provide concentration of silver nanoparticles on carbon matrix in basic liquid would be from 1 to 5 mass.%. Basic liquid is an aqueous paint diluted with water up to specific viscosity which is no more than 35 Pa • sec;
- processing of obtained composition in ultrasound bath with power 60–1200 Watt and frequency 15–40 kHz for 10–600 minutes under continuous mixing with rotation frequency 1–20 Hz;
- deposition for at least 4 hours;
- draining off without precipitation;
- dilution with basic liquid in such a way to provide concentration of silver nanoparticles on carbon matrix in the final product would be equal from 0.1 to 0.01 mass. %.

3. Application of obtained biocide suspension on face surface of wallpapers and heat processing of applied layer.

A method of obtaining amorphous nanostructured diamond-like coating (RU 2760018 C1)

The invention refers to the method of applying corrosion-resistant hard wear-resistant nanostructured coatings made of amorphous nanostructured diamond-like carbon and can be used metal processing, machinery, medicine, electronics, solar energy, electrooptics, photonics, in production of liquid-crystal displays and other areas to increase performance characteristics of surfaces of articles of different purposes [8].

The technical result of the given invention is creation of even dense structure, which does not pass moisture, on the surface of diamond-like coating. The imposed task is resolved as follows. The main stages of the given method: preliminary plasma treatment of article surface in vacuum chamber by means of accelerated ions, applying an adhesive layer, and applying at least one layer of carbon diamond-like film by means of graphite cathode spraying; after the coating layer has been applied, it is taken from the chamber and is polished, then it is again placed in the chamber, it is exposed to the second coating, after that it is secondly polished.

At the first stage, as usual, the article is thoroughly cleaned from dirty and grease is removed. Then the article is put into the vacuum chamber and PVD-coating is applied on its surface. The surface of the article is preliminary exposed to plasma stripping with accelerated ions, an adhesion layer is applied on its surface, and after that a layer of carbon diamond-like film is applied with graphite cathode spraying in the form of vapor phase and it is gradually precipitated on the surface of the article. This causes formation of amorphous nanostructured diamond-like coating which thickness is 1–3 µm. The diamond-like coating of the bigger thickness becomes fragile and it is not usable.

Having being obtained, the coating possesses a rough layer *слой* and uneven structure in the form of graphite nanoparticles and other substances, also in the form of micro- and nanopores. These defects on the surface act as capillaries through which moisture penetrates inside the coating and causes corrosion of article surface. To remove initial rough layer and, along with it defects of the structure, the surface of diamond-like coating is polished until seediness is Ra 0.04 µm or lower. Only this value of seediness makes it possible to cure micro- and nanopores.

After polishing the surface of the coating is cleaned thoroughly and deoiled again, and it is put into vacuum chamber for the second time. The second layer of the carbon diamond-like film with thickness 1–2 µm fills nano- and micropores. Further polishing of the surface up to Ra 0.04 µm and lower removes rough defect layer forming the surface of even dense structure which does not pass moisture. Low seediness of the surface also protects from moisture retaining on the surface and increases its wear-resistance.

A method of organized precipitation of nanostructured carbon thin films in constant electric field (RU 2761200 C1)

The technical result of the invention is the improved quality of precipitated layer and possibility to control/organize precipitation modifying the structure of precipitated layer due to possibility to control the obtained high energy plasma by means of induced constant electric field of high voltage in the area of its spread (between conductive metal grid and substrate). This approach allows focusing and scattering plasma beam, thus varying strength of electric field and polarity of electrodes [9].

Description of the method (fig. 2): a metal grid (3) with cell size 100 μm is placed between transparent substrate (2) (polished quartz glass and glass K8, seediness of the surface $R_a = 2.06 \text{ nm}$) and carbon target (4) (spectroscopically pure graphite of grade CЭУ, glass carbon of grade CY-2000, pyrographite ПГИ). Total distance from the target to the substrate can be changed from 1 mm to 5 mm. The distance from metal grid to the target varies in the range 0.5–2.5 mm. Conductive contacts are fixed to the surface of the target and the metal grid. The negative potential is delivered to the surface of the target, and the positive one – to the grid, that creates braking difference of potentials U for the flow of ionized atoms. Additionally, the use of the grid allows dividing single flow of ablated particles into a set of separate sources.

The performed measures allow us to show that morphological properties of the precipitated layer strongly depend on the distance between the substrate and the target and accelerating voltage of the grid between them. In all cases the usage of the grid leads to precipitation with clear periodic structure, the step of which depends on the distance between the substrate and the grid. The structure of the precipitated layer varies in dependence on the distance between the substrate and the grid and the

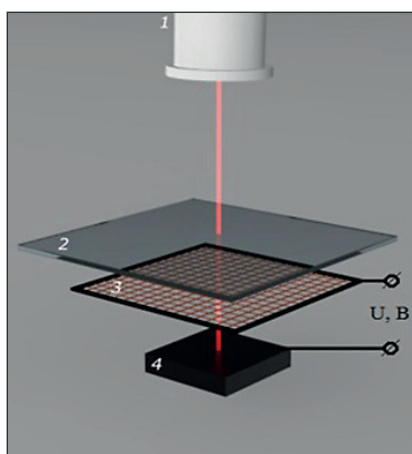


Fig. 2. A method of organized precipitation of nanostructured carbon thin films in constant electric field

difference of potentials between the grid and the target. In the course of precipitation, when voltage is up to 800 V and the distance between the substrate and the grid is varied in the range 1.5–2 mm (and the distance between the grid and the target is 1 mm) the carbon nanofibers are formed. Increased voltage between the grid and target up to $U = 1000 \text{ V}$ causes formation or precipitations from carbon nanotube mass.

To explain the mechanism of control of laser-induced plasma cloud, a mathematical modeling of precipitation experiment was performed. Accordance of model and experiment results is objective. Performed modeling demonstrates change of morphology of precipitated layer in dependence on test conditions. The application of methods of kinetics and molecule dynamics will make it possible to model the process of formation of carbon nanotubes in the future.

A system producing carbon nanotubes (RU 2760734 C1)

The given invention proposes a system producing carbon nanotubes. The system comprises [10]:

- preliminary grown tube for initial preliminary reaction of starting materials before obtaining carbon nanotubes;
- atomizer for atomizing starting materials of carbon nanotubes and further spraying atomized starting materials in preliminary grown tube; the atomizer is in the front end of the preliminary grown tube and it possesses spraying exhaust pipe which is travel into preliminary grown tube;
- the grown tube for production of carbon nanotubes and continuous growing carbon nanotubes; at this, the front end of the preliminary grown tube is hermetically connected to the back end of the preliminary grown tube;
- a generator of air curtain which provides air curtain that surrounds atomizing air flow around discharge of the spraying exhaust pipe, at this, air curtain is parallel to direction of the preliminary grown tube extension; and the generator of air curtain is inside of the preliminary grown tube.

In the given system for production of carbon nanotubes air curtain is formed around spraying exhaust pipe. On one side, in the preliminary grown tube laminar flow is formed by air curtain to stabilize air flow and, on the other side, sticking of carbon nanotubes or admixtures is eliminated, all that provides continuous growth of carbon nanotubes.

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

- A method to produce metal-polymer nanocomposite materials with metal nanoparticle [11];

- A method of producing textile material containing nano- and microcapsuled bio-affecting agents with sustained release [12];
- Chemical compounds for covering nanostructures [13];
- A device to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure [14];
- A method to produce porous graphene membranes and the membranes produced with this method [15];
- A method of obtaining golden nanocores with specified position of plasmon resonance [16];
- A method of electrolytic obtaining silica from melted salts [17];
- A method of obtaining nanotubes InSb by electropulse method [18];
- Innovative technology of municipal wastewater treatment for rapid sludge sedimentation and enhancing pollutants removal with nano-material [19];
- A method of producing thermal conductive composite material from powders of aluminum or its alloy with graphene coating [20];
- A method of obtaining thin films of zinc oxide or tin oxide, combined zinc oxide and tin oxide [21];
- A method of obtaining cobalt ferrite [22];
- Mesoporous carbon and a method of producing it as well as fuel cell with polymer electrolyte [23];
- High RAP in WMA surface mixture containing nanoglass fibers [24]
- Modifiers for polymer-bituminous binder on the basis of media II Vacuum cut and Extract selective purification residual [25];
- A method of obtaining nanopowder yttrium-aluminum garnet [26].
- A method of precipitation of composite coating [27];
- Porous material on the basis of complex polyester [28];
- A method of obtaining nanopowder vanadium trioxide [29];
- A method to obtain polymer-composite material and a composite reinforcement [30].
- CVD – reactor of rolled type [31]
- Hybrid supercondenser on the basis of nanosize nickel hydroxide [32];
- Innovation complex of textile technologies used in production of nanofibrous nonwoven fabric [33].

CONCLUSION

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

To be continued.

REFERENCES

1. Svintsov A.P., Abbas A.A.N., Galishnikova V.V. Nanomodified building mortar. RF Patent 2759479. 2021-11-15.
2. Ananiev M.S., Lyubin P.A., Zakrevskaya L.V. A composition of light self-compacting construction concrete on the basis of cement matrix. RF Patent 2758050. 2021-10-26.
3. Khashemadze A., Ze Kh., Asbek P. A method of producing porous moulded article in the form of insulation plaster layer. RF Patent 2721612. 2020-05-21.
4. Zaichenko N.M., Khalyushev A.K., Stelmach S.A. et al. A method of cement surface modification. RF Patent 2715276. 2020-02-26.
5. Rubstein A.P., Vladimirov A.B., Plotnikov S.A., Rinkevich A.B. Multilayer wear-resistant coating on the steel substrate. RF Patent 2759163. 2021-11-09.
6. Mikheev G.M., Kogai V.Y.-S., Styapshin B.M., Mogileva T.N. A method of producing polarization-sensitive nanocomposite film on the basis of copper selenide. RF Patent 2758150-10-26. 2021.
7. Novopashin S.A., Maltsev V.A., Moiseenko V.V. A method of obtaining ethenyl wallpapers with bactericidal coating. RF Patent 2758770. 2021-11-01.
8. Okhlupin D.N., Korolev A.V., Sinev I.V. etc. A method of obtaining amorphous nanostructured diamond-like coating. RF Patent 2760018. 2021-11-22.
9. Osipov A.V., Kucherik A.O., Samyshkin V.D. A method of ordered precipitation of nanostructured carbon thin films in constant electric field. RF Patent 2761200. 2021-12-06.
10. Yun Ch., Li C., Jin H. A system producing carbon nanotubes. RF Patent 2760734. 2021-11-30.

11. 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, Vol. 12, no. 2, pp. 71–76. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76).
12. Kozlova O.V., Smirnova S.V., Odintsova O.I. et al. A method of producing textile material containing nano- and microcapsuled bio-affecting agents with sustained release. RF Patent 2758647. 2021-11-01.
13. Akeselsson O., Sansone A. Chemical compounds for covering nanostructures. RF Patent 2757904. 2021-10-22.
14. Sivkov A.A., Vympina Yu.N., Nikitin D.S. et al. A device to obtain nanocrystalline titanium dioxide with anatase structure. RF Patent 2759314. 2021-11-11.
15. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Demenev A.V., Ivanov V.A. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part III. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(3): 158–165. Available from: doi: [10.15828/2075-8545-2021-13-3-158-165](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-3-158-165).
16. Khanadeev V.A., Khlebtsov B.N., Khlebtsov N.G. A method of obtaining golden nanocores with specified position of plasmon resonance. RF Patent 2759484. 2021-11-15.
17. Gevel T.A., Zhuk S.I., Vakhromeeva A.E. et al. A method of electrolytic obtaining silica from melted salts. RF Patent 2760027. 2021-11-22.
18. Zhukalin D.A., Dolgikh I.I., Bityutskaya L.A. A method of obtaining nanotubes InSb by electropulse method. RF Patent 2760392. 2021-11-24.
19. 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).
20. Zhuravlev V.V., Gerasimov V.F., Chernyaeva S.O., Eremin S.A. A method of producing thermal conductive composite material from powders of aluminum or its alloy with graphene coating. RF Patent 2760896. 2021-12-01.
21. Petrov V.V., Bayan E.M. A method of obtaining thin films of zinc oxide or tin oxide, combined zinc oxide and tin oxide. RF Patent 2761193. 2021-12-06.
22. Denisova K.O., Ilyin A.A., Ilyin A.P. et al. A method of obtaining cobalt ferrite. RF Patent 2761198. 2021-12-06.
23. Khasegava N., Yano K., Takesita T. Mesoporous carbon and a method of producing it as well as fuel cell with polymer electrolyte. RF Patent 2761216. 2021-12-06.
24. 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).
25. Korolev E.V.B., Shekhovtsova S.Yu. Modifiers for polymer-bituminous binder on the basis of media II Vacuum cut and Extract selective purification residual. RF Patent 2761220. 2021-12-06.
26. Abiev R.Sh., Zdravkov A.V., Kudryashov Yu.S. A method of obtaining nanopowder yttrium-aluminium garnet. RF Patent 2761324. 2021-12-07.
27. Mamontova Yu.E., Stekolnikov Yu.A. A method of precipitation of composite coating. RF Patent 2761573. 2021-12-10.
28. Makinini R.D., Xue Yu. Porous material on the basis of complex polyester. RF Patent 2761619. 2021-12-13.
29. Krasilnikov V.N., Gyrdasova O.I. A method of obtaining nanopowder vanadium trioxide. RF Patent 2761849. 2021-12-13.
30. Ivanov L.A., Xu L.D., Razumeev K.E., Pisarenko Zh.V., Demenev A.V. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part VI. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(6): 370–378. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378>.
31. Smovzh D.V., Matochkin P.E., Bezrukov I.A., Krivenko A.S. CVD – reactor of rolled type. RF Patent 2762700. 2021-12-22.
32. Sykchin A.S., Vepreva A.I., Spirov I.V. et al. Hybrid supercondenser on the basis of nanosize nickel hydroxide. RF Patent 2763028. 2021-12-27.
33. Budyka A.K., Ekidin A.A., Vasyanovich M.E. et al. Innovation complex of textile technologies used in production of nanofibrous nonwoven fabric. In: *Modern Engineering Problems of Key Industries*. International Scientific and Technical Symposium and the III International Kosygin Forum. Moscow; 2021. p. 95–102.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Elena S. Bokova – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Chemistry and Technology of Polymers and Nanocomposites, A.N.Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Moscow, Russia, esbokova@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7769-9639>

Aleksandr D. Ishkov – Cand. Sci. (Psychology), Associated Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Head of the Department of Social, Psychological and Legal Communications, Moscow, Russia, aishkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1709-0175>

Oksana N. Borisova – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Russian State University of Tourism and Service; Cherkizovo, Moscow region, Russia, borisova-on@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7391-6170>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 28.12.2021; approved after reviewing 27.01.2022; accepted for publication 31.01.2022.

Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть I

Леонид Алексеевич Иванов^{1*}, Ли Да Сюй², Елена Сергеевна Бокова³,
Александр Дмитриевич Ишков⁴, Оксана Николаевна Борисова⁵

¹ Российская инженерная академия, Москва, Россия

² Университет Олд Доминион, Норфолк, Вирджиния, США

³ Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

⁴ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

⁵ Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Россия

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

РЕЗЮМЕ: Введение. Высокие технологии поражают воображение людей, демонстрируя все новые и новые достижения (материалы, способы, системы, технологии, устройства и др.), кардинально меняющие окружающий мир. Это, прежде всего, можно отнести к изобретениям ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. **Основная часть.** В статье в реферативной форме проводится обзор изобретений ученых, инженеров и специалистов из разных стран: Германии, Ирака, Китая, России, США, Украины, Швеции, Японии и др. Результаты творческой деятельности ученых, инженеров и специалистов, в т.ч. и изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов позволяют при их внедрении добиться значительного эффекта в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, смежных отраслях экономики. Например, изобретение «Наномодифицированный строительный раствор» относится к строительным материалам и может быть использовано при каменной кладке из керамических камней, керамического кирпича, пустотелого кирпича в условиях сухого жаркого климата. Новым по сравнению с известными строительными растворами является сочетание известных компонентов портландцемента, песка для строительных работ, аморфного наномодифицированного диоксида кремния, суперпластификатора С-3, замедлителя сроков схватывания и твердения портландцемента, смолы воздухововлекающей. Указанный качественный и количественный состав наномодифицированного строительного раствора обеспечивает возможность получения простым способом указанных смесей, например в гравитационном смесителе, с равномерным распределением компонентов по объему, который характеризуется необходимой подвижностью, водоудерживающей способностью, регулируемым сроком схватывания и может быть использован в условиях сухого жаркого климата с температурой воздуха, достигающей 40–50°C. Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: состав лёгкого самоуплотняющегося конструкционного бетона на основе цементной матрицы, способ изготовления поляризационно-чувствительной нанокомпозитной плёнки на основе селенида меди, способ изготовления пористого формованного изделия в виде слоя изоляционной штукатурки, способ получения аморфного наноструктурированного алмазоподобного покрытия, способ поверхностного модифицирования цемента, производящая углеродные нанотрубки система 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, наномодифицированный строительный раствор, наноструктурированное покрытие, нанотрубка, нанокомпозитная пленка.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Борисова О.Н. Изобретения в области наноматериалов и нанотехнологий. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 18–26. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-18-26>.

ВВЕДЕНИЕ

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

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

из разных стран (Германии, Ирака, Китая, России, США, Украины, Швеции, Японии и др.) в области нанотехнологий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Наномодифицированный строительный раствор (RU 2759479 C1)

Изобретение относится к строительным материалам и может быть использовано при каменной кладке из керамических камней, керамического кирпича, пустотелого кирпича в условиях сухого жаркого климата [1]. Одной из наиболее значимых проблем каменной кладки из керамических кирпичей в условиях сухого жаркого климата является обеспечение подвижности и водоудерживающей способности раствора при температурах окружающего воздуха более 20°C, достигающих 40–50°C. Разогретый кирпич интенсивно абсорбирует воду из раствора, что приводит к повышению трудоемкости работ из-за снижения подвижности раствора.

Задачей технического решения является получение строительного цементно-песчаного раствора, который характеризуется необходимой подвижностью, водоудерживающей способностью, регулируемым сроком схватывания и может быть использован в условиях сухого жаркого климата с температурой воздуха, достигающей 40–50°C. Технический результат заключается в повышении водоудерживающей способности при обеспечении необходимой подвижности и регулируемого срока схватывания строительного раствора. Технический результат достигается за счет того, что строительный раствор, включающий портландцемент, песок строительный с модулем крупности от 1,5 до 2,0, воду, дополнительно содержит аморфный наномодифицированный диоксид кремния, суперпластификатор С-3, замедлитель срока схватывания и твердения портландцемента, смолу воздухововлекающую при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент – 10,80–16,90; песок для строительных работ – 69,50–80,70; аморфный наномодифицированный диоксид кремния – 0,01–0,12; замедлитель схватывания и твердения портландцемента – 0,002–0,05; суперпластификатор С-3 – 0,02–0,15; смола воздухововлекающая – 0,02–0,15; вода – 8,5–13,0.

Новым по сравнению с известными строительными растворами является сочетание известных компонентов портландцемента, песка для строительных работ, аморфного наномодифицированного диоксида кремния, суперпластификатора С-3, замедлителя сроков схватывания и твердения портландцемента, смолы воздухововлекающей. Указанный качественный и количественный состав наномодифи-

цированного строительного раствора обеспечивает возможность получения простым способом указанных смесей, например в гравитационном смесителе, с равномерным распределением компонентов по объему, который характеризуется необходимой подвижностью, водоудерживающей способностью, регулируемым сроком схватывания и может быть использован в условиях сухого жаркого климата с температурой воздуха, достигающей 40–50°C.

Заявленная совокупность существенных признаков проявляет новое свойство: повышение водоудерживающей способности при обеспечении необходимой подвижности и регулируемого срока схватывания строительного раствора.

Состав легкого самоуплотняющегося конструкционного бетона на основе цементной матрицы (RU 2758050 C1)

Изобретение относится к промышленности строительных материалов и может быть использовано при возведении зданий в гражданском, промышленном строительстве и при возведении сооружений специального назначения. Цель изобретения – получение легкого самоуплотняющегося конструкционного бетона (ЛКБ) высокой прочности, высокой морозостойкости, низкой себестоимости и низкой теплопроводности.

Предлагаемый композиционный материал представляет собой легкий бетон с высокими теплотехническими характеристиками. Данный результат достигается путем применения легкого заполнителя кубовидной формы с множеством замкнутых пор, обеспечивающих высокий теплоизоляционный эффект и низкую плотность конечного продукта, а также высокую адгезию с вяжущим материалом. При низких показателях плотности и теплопроводности бетон обладает высокой прочностью, что достигается путем создания в бетоне высокопрочной цементной матрицы за счет рациональной упаковки компонентов и образования прочных химических связей. Предлагаемый бетон позволяет возводить многоэтажные здания с высокими теплотехническими и прочностными показателями, соответствующими современным требованиям [2].

Состав для изготовления самоуплотняющегося конструкционного бетона содержит механоактивированный портландцемент, пеностеклокерамические гранулы, реологически активную каменную муку, водоудерживающую добавку, микро- и нанокремнеземы, полифункциональный модификатор на поликарбоксилатной основе, воду, в следующем соотношении компонентов, мас. %: механоактивированный портландцемент 15–25, полифункциональный модификатор 1–2,5, реологически активная каменная

мука 10–25, водоудерживающая добавка 0,003–0,02, микро- и нанокремнеземы 1,5–7, пеностеклокерамические гранулы, 30–50, вода — остальное.

Технология заявляемого состава включает следующие переделы: механоактивация портландцемента совместно с полифункциональным модификатором на поликарбоксилатной основе и микро- и нанокремнеземом, дозировка сухих компонентов, воды, перемешивание до образования однородной литой массы, формирование изделий и выдержка в течение 28 суток до набора максимальной прочности.

Способ изготовления пористого формованного изделия в виде слоя изоляционной штукатурки (RU 2721612 C1)

Изобретение относится к пористым формованным изделиям в виде слоя изоляционной штукатурки или изоляционной плиты, к способу изготовления таких пористых формованных изделий и к растворным смесям для изготовления этих пористых формованных изделий. Известно, что при укладке слоев изоляционной штукатурки и при изготовлении теплоизоляционных плит часто применяют легко воспламеняющиеся материалы, такие как пенополистирол или пенополиуретан. Недостаток таких материалов состоит при этом в их легкой возгораемости.

В основу настоящего изобретения была положена задача предложить изоляционные материалы на основе минеральных легких заполнителей, такие материалы были бы гибкими и одновременно с этим обладали бы лучшими противопожарными свойствами [3].

Способ изготовления пористого формованного изделия в виде слоя изоляционной штукатурки, содержащего закрытопористые или открытопористые либо смешаннопористые полые тела из неорганических материалов и в качестве вяжущего композиционные частицы, которые содержат, по меньшей мере, один органический полимер в качестве органической полимерной фазы и одно неорганическое твердое вещество, частицы которого распределены в органической полимерной фазе, при этом массовая доля неорганического твердого вещества составляет от 15 до 50 мас.% в пересчете на общую массу органического полимера и неорганического твердого вещества в композиционной частице, закрытопористые или открытопористые либо смешаннопористые полые тела из неорганических материалов в количестве от 10 до 50 мас.%, композиционные частицы в количестве от 5 до 20 мас.%, заполнители в количестве от 40 до 80 мас.%, минеральные вяжущие и/или полимерные вяжущие в количестве от 0 до 20 мас.% и при необходимости дополнительные добавки в количестве от 0,1 до 10 мас.%, в каждом случае в пере-

счете на общую массу сухой смеси без воды, при этом указанные в мас.% значения в каждом случае в сумме составляют 100 мас.%, затворяют водой и полученный раствор наносят на основу. Изобретение развито в зависимых пунктах формулы. Технический результат — изготовление изоляционного материала, обладающего гибкими и одновременно улучшенными противопожарными свойствами.

Способ поверхностного модифицирования цемента (RU 2715276 C1)

Изобретение относится к производству строительных материалов, в частности к изготовлению цемента. Задачей изобретения является повышение качества цемента, увеличение сроков его слеживаемости, снижение удельной поверхности за счет выравнивания гранулометрического состава и, как следствие, уменьшение его водопотребности [4].

Сущность изобретения заключается в том, что способ поверхностного модифицирования цемента, включающий обработку цемента, при этом включает биполярную зарядку цемента в камере электризации под воздействием высоковольтного электрического поля коронного разряда, биполярная зарядка осуществляется путем прохождения одной половины потока аэрозоля через положительную единицу зарядного устройства, а другая половина потока — через отрицательную единицу зарядного устройства, затем униполярно заряженные частицы поступают в агломератор с переменным высоковольтным электрическим полем.

Способ осуществляется следующим образом (рис. 1). При действии электрического поля, которое создается в камере электризации частиц 1 в первой секции между коронирующим отрицательным 4 и внешним осадительным положительным 6 электродами, исходные минеральные компоненты адсорбируют ионы из межэлектродного пространства и приобретают отрицательный заряд. Во второй секции происходит аналогичный процесс между электродом с положительным потенциалом 5 и отрицательным электродом 7, только минеральные компоненты приобретают положительный заряд. В результате биполярно заряженные минеральные дисперсные компоненты далее поступают в агломератор 2, где под действием высоковольтного переменного электрического поля 9 осуществляются колебания с разной амплитудой и частотой. Крупные частицы осциллируют с большей амплитудой и частотой, чем мелкие частички, градиент частоты и амплитуды колебаний обуславливает увеличение частоты столкновений частиц, что приводит к образованию сфероидального цемента 8. Заземление осуществляется с помощью электрода 10.

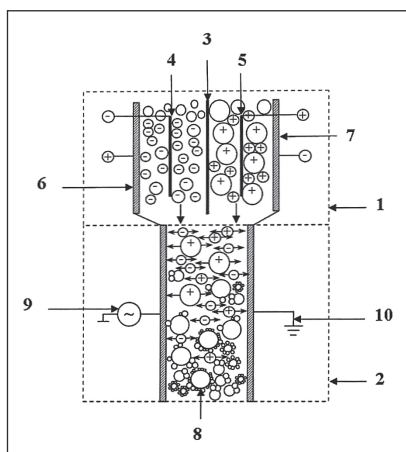


Рис. 1. Установка для поверхностного модифицирования минеральных дисперсных компонентов:

1 – камера электризации частиц; 2 – агломератор; 3 – перегородка из диэлектрического материала; 4 – коронирующий электрод; 5 – электрод с положительным потенциалом; 6 – внешний осадительный электрод; 7 – отрицательный электрод; 8 – сфероидальный цемент; 9 – высоковольтное переменное электрическое поле; 10 – электрод, с помощью которого осуществляется заземление

Технический результат – увеличение сроков слеживаемости цемента, уменьшение количества «свободных» высокодисперсных частиц (диаметр менее 3 мкм), снижение шероховатости поверхности «сфероидов» и удельной поверхности за счет выравнивания гранулометрического состава, а также замедление ранних стадий гидратации цемента, что повышает подвижность бетонных смесей, приготовленных на основе такого «сфероидального» цемента, и, как следствие, происходит уменьшение его водопотребности (водоцементное отношение снижается на 6–8%). При использовании в составе бетонных смесей суперпластификаторов отмечено также снижение их адсорбции на единицу поверхности цемента (до 20%).

Многослойное износостойкое покрытие на стальной подложке (RU 2759163 C1)

В современном машиностроении широко применяются инструмент и детали механических систем, на рабочую поверхность которых нанесены защитные износостойкие наноструктурные покрытия. Нанесение защитных покрытий на обрабатывающие инструменты и детали машин значительно увеличивает их срок службы. Кроме того, металлы и сплавы могут разрушаться и в результате коррозии, например, после химического, электрохимического, радиационного и т.д. воздействия внешней среды.

Процессы коррозии и механического износа при эксплуатации аппаратуры могут протекать одновременно, например, при работе насосов, мешалок, винтов и т.д. Поэтому востребованы износостойкие и коррозионностойкие покрытия.

Алмазоподобные углеродные покрытия (АУП) хорошо известны тем, что они обеспечивают низкое трение, высокую износостойкость и высокую теплопроводность. Благодаря низкому коэффициенту трения и высокой твердости они нашли применение в трибологии в качестве защитных от абразивного и фрикционного износа. Тем не менее, их высокая твердость и высокие внутренние напряжения часто приводят к слабому сцеплению со стальными подложками, что проблематично для многих высокотехнологичных отраслей. Твердые, плотные АУП применяются также для защиты металлических подложек от коррозии в различных химически агрессивных средах. Однако остаточные нанопоры и дефекты в покрытии являются начальными источниками коррозионных явлений, в результате которых в АУП образуется сеть дефектов, служащих каналами коррозионного воздействия среды на подложку под покрытием.

Указанные технические проблемы могут решаться достижением технического результата, заключающегося в том, что износостойкое многослойное покрытие на стальной подложке, содержащее нанокompозитный слой, включающий углерод, и слой из алмазоподобного углерода с чередованием упомянутых двух слоев, согласно изобретению, в этом покрытии слой алмазоподобного углерода выполнен гидрогенизированным, осаждаемым PACVD способом, а нанокompозитный слой, полученный комбинированным методом физического осаждения из паровой фазы (PVD) и плазменно-химического осаждения из газовой фазы (PACVD), включает хром, алюминий и их соединения с углеродом [5]. При этом общее содержание хрома в нанокompозитном слое составляет 30–35 ат. %, алюминия – 50–52 ат. %, углерода – 13–18 ат. % и остальное – кислород. Покрытие выполняется толщиной 800–2500 нм с количеством упомянутых слоев от 20 до 50 и толщиной каждого слоя от 40 до 50 нм.

Изобретение может быть использовано в металлообработке, машиностроении, нефтегазовой промышленности, химической промышленности и т.д. для повышения эксплуатационных свойств поверхности изделий, работающих в различных условиях.

Способ изготовления поляризационно-чувствительной нанокompозитной пленки на основе селенида меди (RU 2758150 C1)

Задачей изобретения является разработка способа изготовления поляризационно-чувствительной на-

нокомпозитной пленки на основе селенида меди с большей эффективностью преобразования мощности лазерного излучения в фототок [6].

Сущность изобретения заключается в том, что в отличие от известного способа изготовления поляризационно-чувствительной нанокомпозитной пленки на основе селенида меди, включающего последовательное нанесение методом вакуумно-термического напыления в едином вакуумном цикле слоев селена и меди на находящуюся при комнатной температуре и расположенную перпендикулярно к направлению движения напыляемых частиц диэлектрическую подложку, полученную нанокомпозитную пленку отжигают в вакууме при температуре выше 120°C и ниже 217°C.

Техническим результатом является увеличение эффективности преобразования мощности лазерного излучения в фототок в поляризационно-чувствительной нанокомпозитной пленке на основе селенида меди.

Способ изготовления поляризационно-чувствительной нанокомпозитной пленки на основе селенида меди по данному изобретению осуществляется следующим образом. На находящуюся при комнатной температуре диэлектрическую подложку последовательно наносят методом вакуумно-термического напыления в едином вакуумном цикле слои селена и меди. При этом подложку располагают перпендикулярно к направлению движения напыляемых частиц. Горячие пары и кластеры меди, попадая на легкоплавкий слой селена, вступают с ним в химическую реакцию, в результате которой на поверхности подложки образуется полупрозрачная электропроводящая поляризационно-чувствительная нанокомпозитная пленка, состоящая из поликристаллического селенида меди и аморфного селена. Полученную нанокомпозитную пленку отжигают в вакууме, в результате чего происходит кристаллизация аморфного селена и укрупнение кристаллитов селенида меди, что приводит к увеличению эффективности преобразования мощности лазерного излучения в фототок.

В экспериментах формирование поляризационно-чувствительной нанокомпозитной пленки на основе селенида меди осуществлялось методом вакуумно-термического напыления на прямоугольную кварцевую подложку размером 17,5×34,5 мм. Вдоль коротких сторон подложки были предварительно нанесены два параллельных тонкопленочных измерительных электрода шириной 5 мм. В процессе напыления подложка имела комнатную температуру и находилась на расстоянии 0,12 м от испарителя перпендикулярно к направлению движения напыляемых частиц. Соотношение навесок селена и меди в испарителе составляло 19:5. Готовая пленка имела толщину 130 нм и сопротивление постоянному току между измерительными электродами 37,2 Ом.

Отжиг экспериментального образца производился при температуре 150°C в течение 30 минут. Сопротивление постоянному току между измерительными электродами в отожженной пленке составило 25,7 Ом.

Способ получения виниловых обоев с бактерицидным покрытием (RU 2758770 C1)

Изобретение относится к способам получения обоев с бактерицидным покрытием, которое препятствует образованию бактерий и грибов на поверхностях оклеенных изделий и способно также самостоятельно устранять из воздуха помещения патогенные микроорганизмы и ингибировать процесс их размножения. Изобретение может быть использовано для обеззараживания поверхностей и воздуха в помещениях, особенно, в местах скопления людей, в медицинских учреждениях [7].

Известно, что одним из вариантов решения проблем обеззараживания поверхностей и воздуха в помещениях, особенно, в местах скопления людей, в медицинских учреждениях, может стать оклеивание поверхностей обоями с бактерицидным покрытием на основе водно-дисперсных ЛКМ (лакокрасочных материалов) с наноразмерными частицами серебра, меди или золота с повышенной биоцидной активностью, которые препятствуют образованию бактерий и грибов на поверхностях, а также способны самостоятельно устранять из воздуха помещения патогенные микроорганизмы и ингибировать процесс их размножения.

Предлагаемый способ включает в качестве этапов ряд известных из уровня техники способов, но при этом достигается новый результат, а именно обои с бактерицидным покрытием, обладающие высокой и длительной бактерицидной активностью по отношению к штаммам разных классов микроорганизмов. Задачей настоящего изобретения является создание способа получения виниловых обоев с бактерицидным покрытием, обладающих высокой и длительной бактерицидной активностью по отношению к штаммам разных классов микроорганизмов, которые являются патогенными по отношению к млекопитающим и к человеку, и пригодных для использования в производственных и бытовых помещениях, в детских и медицинских учреждениях, в местах большого скопления людей и т.д.

Поставленная задача решается тем, что предлагается способ получения виниловых обоев с бактерицидным покрытием, включающий следующие этапы:

1. Получение антибактериального агента, представляющего собой наночастицы серебра на углеродной матрице, путем распыления в плазме электрического дугового разряда постоянного тока в ат-

мосфере инертного газа при давлении 1–500 торр, токе разряда 100–300 А и напряжении на разряде 15–35 В композитного электрода, представляющего собой графитовый стержень, в просверленную полость которого запрессована смесь порошков серебра и графита с содержанием серебра от 1 до 100 мас. %.

2. Получение биоцидной суспензии путем выполнения следующих действий: введение в базовую жидкость, которая представляет собой водно-дисперсный лакокрасочный материал, разведенный водой до условной вязкости, составляющей не более 35 Па • с., наночастиц серебра на углеродной матрице, так, чтобы концентрация наночастиц серебра на углеродной матрице к базовой жидкости составляла от 1 до 5 мас. %; обработка полученного состава в ультразвуковой ванне мощностью 60–1200 Вт и частотой 15–40 кГц в течение 10–600 минут при непрерывном перемешивании мешалкой с частотой вращения 1–20 Гц; отстаивание в течение не менее 4 часов; сливание, не допуская перетекания осадка; разбавление базовой жидкостью так, чтобы концентрация наночастиц серебра на углеродной матрице в конечном продукте составляла от 0,1 до 0,01 мас. %.

3. Нанесение полученной биоцидной суспензии на лицевую поверхность обоев и термообработка нанесенного слоя.

Способ получения аморфного наноструктурированного алмазоподобного покрытия (RU 2760018 C1)

Изобретение относится к способу нанесения коррозионностойких твердых износостойких наноструктурированных покрытий из аморфного алмазоподобного углерода и может быть использовано в металлообработке, машиностроении, медицине, электронике, солнечной энергетике, оптоэлектронике, фотонике, в производстве жидкокристаллических дисплеев и других областях для повышения эксплуатационных свойств поверхности изделий различного функционального назначения [8].

Техническим результатом предлагаемого способа является создание на поверхности алмазоподобного покрытия однородной плотной структуры, через которую не проникает влага. Поставленная задача решается тем, что в способе получения аморфного наноструктурированного алмазоподобного покрытия на изделии, включающем предварительную плазменную очистку поверхности изделия в вакуумной камере ускоренными ионами, нанесение адгезионного слоя и нанесение, по меньшей мере, одного слоя углеродной алмазоподобной пленки с помощью катодного распыления графита, после нанесения слоя покрытия его извлекают из камеры и подвергают полировке, а затем снова помещают в камеру,

подвергают повторному покрытию, после чего снова полируют.

На первой стадии, как обычно, изделие подвергают тщательной очистке от загрязнений и обезжириванию. Далее изделие помещают в вакуумную камеру, и на его поверхность наносят PVD-покрытие. Поверхность изделия предварительно подвергается плазменной очистке ускоренными ионами, на ее поверхность наносят адгезионный слой, а затем наносят слой углеродной алмазоподобной пленки с помощью катодного распыления графита в виде паровой фазы и постепенного осаждения его на поверхность изделия. Тем самым образуется аморфное наноструктурированное алмазоподобное покрытие толщиной 1–3 мкм. Алмазоподобное покрытие большей толщины становится хрупким и непригодным для эксплуатации.

Покрытие после получения имеет шероховатый слой и неоднородную структуру в виде наночастиц графита и других веществ и в виде нано- и микропор. Через эти дефекты поверхности, как по капиллярам, проникает влага и вызывает коррозию поверхности изделия. Для удаления исходного шероховатого слоя, а вместе с ним и дефектов структуры поверхность алмазоподобного покрытия подвергают полировке до шероховатости Ra 0,04 мкм и ниже. Только при такой шероховатости становятся доступными для залечивания микро- и нанопоры.

После полировки поверхность покрытия вновь подвергают тщательной очистке и обезжириванию и вновь помещают в вакуумную камеру. Второй слой углеродной алмазоподобной пленки толщиной 1–2 мкм заполняет имеющиеся на поверхности нано- и микропоры. Последующая полировка поверхности до Ra 0,04 мкм и ниже удаляет шероховатый дефектный слой, образуя поверхность однородной плотной структуры, через которую не проникает влага. Низкая шероховатость поверхности также препятствует удержанию влаги на поверхности и повышает износостойкость поверхности.

Способ упорядоченного осаждения наноструктурированных углеродных тонких пленок в постоянном электрическом поле (RU 2761200 C1)

Техническим результатом изобретения является повышение качества осажденного слоя и обеспечение возможности контролируемого/упорядоченного осаждения с изменением структуры осажденного слоя благодаря тому, что созданную высокоэнергичную плазму можно контролировать с помощью наведенного постоянного электрического поля высокой напряженности в области ее распространения (между проводящей металлической сеткой и подложкой). Та-

кой способ позволяет фокусировать и рассеивать плазменный пучок, варьируя степенью напряженности электрического поля и полярностью электродов [9].

Описание способа (рис. 2): между прозрачной подложкой (2) (полированное кварцевое стекло и стекло К8, шероховатость поверхности $Ra = 2,06$ нм) и углеродной мишенью (4) (спектрально чистый графит марки СЭУ, стеклоуглерод марки СУ-2000, пирографит ПГИ) помещается металлическая сетка (3) с размером ячейки 100 мкм. Общее расстояние от мишени до подложки возможно изменять от 1 до 5 мм. Расстояние от металлической сетки до мишени варьируется в пределах 0,5–2,5 мм. Проводящие контакты прикреплялись к поверхности мишени и металлической сетки. На поверхность мишени подавался отрицательный потенциал, на сетку — положительный, что создавало тормозящую разность потенциалов U для потока ионизированных атомов. Дополнительно использование сетки позволяет осуществлять разбиение единого потока аблированных частиц на множество отдельных источников.

Проведенные измерения позволяют показать, что морфологические свойства осажденного слоя сильно зависят от расстояния между подложкой и мишенью и ускоряющего напряжения на сетке между ними. Во всех случаях использование сетки приводит к осаждению с ярко выраженной периодической структурой, шаг которой зависел от расстояния между сеткой и подложкой. Структура осажденного слоя меняется в зависимости от расстояния между подложкой и сеткой и разности потенциалов между сеткой и мишенью. При напряжении до 800 В и варьировании расстояния между сеткой и подложкой в пределах 1,5–2 мм (и расстоянии от сетки до мишени в 1 мм) в процессе осаждения формируются углеродные нановолокна. Увеличение напряжения между сеткой и мишенью до $U = 1000$ В приводит к формированию осадений из массива углеродных нанотрубок.

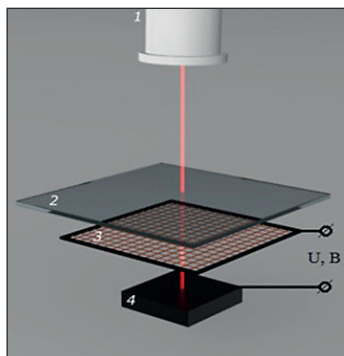


Рис. 2. Способ упорядоченного осаждения наноструктурированных углеродных тонких пленок в постоянном электрическом поле

Для пояснения механизма управления лазерно-индуцированным плазменным облаком было реализовано математическое моделирование эксперимента осаждения. Соответствие модельных и экспериментальных результатов объективно. Проведенное моделирование демонстрирует изменение морфологии осажденного слоя в зависимости от условий эксперимента. Использование методов кинетики и молекулярной динамики позволит в дальнейшем моделировать процесс формирования углеродных нанотрубок.

Производящая углеродные нанотрубки система (RU 2760734 C1)

В настоящем изобретении предложена производящая углеродные нанотрубки система, содержащая [10]:

- предварительную выращивающую трубу для начальной предварительной реакции исходных материалов перед получением углеродных нанотрубок;
- атомизатор для атомизации исходных материалов углеродных нанотрубок и последующего распыления атомизированных исходных материалов в предварительную выращивающую трубу; при этом атомизатор присутствует на переднем конце предварительной выращивающей трубы и имеет распылительную выпускную трубу, которая проходит в предварительную выращивающую трубу;
- выращивающую трубу для производства углеродных нанотрубок и непрерывного выращивания производимых углеродных нанотрубок; при этом передний конец выращивающей трубы герметично присоединяется к заднему концу предварительной выращивающей трубы;
- генератор воздушной завесы для образования воздушной завесы, окружающей атомизирующий воздушный поток вокруг выпуска распылительной выпускной трубы, причем воздушная завеса проходит параллельно по отношению к направлению продолжения предварительной выращивающей трубы, и при этом генератор воздушной завесы находится внутри предварительной выращивающей трубы.

В представленной выше производящей углеродные нанотрубки системе воздушная завеса образуется вокруг распылительной выпускной трубы. С одной стороны, образуется ламинарный поток в предварительной выращивающей трубе посредством воздушной завесы для стабилизации воздушного потока, и, с другой стороны, предотвращается прилипание углеродных нанотрубок или примесей, и в результате этого обеспечивается непрерывный рост углеродных нанотрубок.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Способ получения металл-полимерных нанокомпозиционных материалов с наночастицами металлов [11].
- Способ производства текстильного материала, содержащего нано- и микрокапсулированные биологически активные вещества с замедленным высвобождением [12].
- Химические соединения для покрытия наноструктур [13].
- Устройство для получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаза [14].
- Способ изготовления пористых графеновых мембран и мембраны, изготовленные с использованием этого способа [15].
- Способ получения золотых наностержней с заданным положением плазмонного резонанса [16].
- Способ электролитического получения кремния из расплавленных солей [17].
- Способ получения нанотрубок InSb электроимпульсным методом [18].
- Инновационная технология очищения сточных вод с целью быстрого отстаивания осадка и улучшения очистки от загрязнений с помощью наноматериалов [19].
- Способ изготовления теплопроводного композиционного материала из порошков алюминия или его сплава с графеновым покрытием [20].
- Способ получения тонких пленок оксида цинка или оксида олова, или смешанных оксидов цинка и олова [21].
- Способ получения феррита кобальта [22].
- Мезопористый углерод и способ его изготовления, а также топливный элемент с полимерным электролитом [23].
- Смесь для нанесения финишного асфальтного покрытия. Высокорегенированное асфальтное покрытие РАП [24].
- Модификаторы для полимерно-битумного вяжущего на основе сред II Вакуумный погон и Экстракт селективной очистки остаточный [25].
- Способ получения нанопорошка иттрий-алюминиевого граната [26].
- Способ осаждения композиционного покрытия [27].
- Пористый материал на основе сложного полиэфира [28].
- Способ получения нанопорошка триоксида ванадия [29].
- Способ получения полимерно-композитного материала и композитная арматура [30].
- CVD-реактор рулонного типа [31].
- Гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля [32].
- Инновационный комплекс текстильных технологий производства нановолокнистых нетканых материалов [33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Продолжение следует.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Свинцов А.П., Аббас А.А.Н., Галишникова В.В. Наномодифицированный строительный раствор // Патент 2759479 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 32.
2. Ананьев М.С., Любин П.А., Закревская Л.В. Состав легкого самоуплотняющегося конструкционного бетона на основе цементной матрицы // Патент 2758050 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 30.
3. Хашемзаде А., Це Х., Асбек П. Способ изготовления пористого формованного изделия в виде слоя изоляционной штукатурки // Патент 2721612 РФ МПК С1. 2020. Бюл. № 15.
4. Зайченко Н.М., Халюшев А.К., Стельмах С.А. и др. Способ поверхностного модифицирования цемента // Патент 2715276 РФ МПК С1. 2020. Бюл. № 6.
5. Рубштейн А.П., Владимиров А.Б., Плотников С.А., Ринкевич А.Б. Многослойное износостойкое покрытие на стальной подложке // Патент 2759163 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 31.
6. Михеев Г.М., Когай В.Я.-С., Стяпшин В.М., Могилева Т.Н. Способ изготовления поляризационно-чувствительной нанокompозитной плёнки на основе селенида меди // Патент 2758150 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 30.
7. Новопашин С.А., Мальцев В.А., Моисеенко В.В. Способ получения виниловых обоев с бактерицидным покрытием // Патент 2758770 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 31.
8. Охлупин Д.Н., Королев А.В., Синев И.В. и др. Способ получения аморфного наноструктурированного алмазоподобного покрытия // Патент 2760018 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 33.
9. Осипов А.В., Кучерик А.О., Самышкин В.Д. Способ упорядоченного осаждения наноструктурированных углеродных тонких пленок в постоянном электрическом поле // Патент 2761200 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

10. Юн Ч., Ли Ц., Цзинь, Х. Производящая углеродные нанотрубки система // Патент 2760734 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
11. 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](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76).
12. Козлова О.В., Смирнова С.В., Одинцова О.И. и др. Способ производства текстильного материала, содержащего нано- и микрокапсулированные биологически активные вещества с замедленным высвобождением // Патент 2758647 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 31.
13. Аксельссон О., Сансоне А. Химические соединения для покрытия наноструктур // Патент 2757904 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 30.
14. Сивков А.А., Вымпина Ю.Н., Никитин Д.С. и др. Устройство для получения нанокристаллического диоксида титана со структурой анатаза // Патент 2759314 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 32.
15. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Деменев А.В., Иванов В.А. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, № 3. С. 158–165. [DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-3-158-165](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-3-158-165).
16. Ханадеев В.А., Хлебцов Б.Н., Хлебцов Н.Г. Способ получения золотых наностержней с заданным положением плазмонного резонанса // Патент 2759484 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 32.
17. Гевел Т.А., Жук С.И., Вахромеева А.Е. и др. Способ электролитического получения кремния из расплавленных солей // Патент 2760027 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 33.
18. Жукалин Д.А., Доглих И.И., Битюцкая Л.А. Способ получения нанотрубок InSb электроимпульсным методом // Патент 2760392 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 33.
19. 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](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31).
20. Журавлев В.В., Герасимов В.Ф., Черняева С.О., Еремин С.А. Способ изготовления теплопроводного композиционного материала из порошков алюминия или его сплава с графеновым покрытием // Патент 2760896 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
21. Петров В.В., Баян Е.М. Способ получения тонких плёнок оксида цинка или оксида олова, или смешанных оксидов цинка и олова // Патент 2761193 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
22. Денисова К.О., Ильин А.А., Ильин А.П. и др. Способ получения феррита кобальта // Патент 2761198 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
23. Хасэгава Н., Яно К., Такэсита Т. Мезопористый углерод и способ его изготовления, а также топливный элемент с полимерным электролитом // Патент 2761216 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
24. 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](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338).
25. Королев Е.В., Шеховцова С.Ю. Модификаторы для полимерно-битумного вяжущего на основе сред II Вакуумный погон и Экстракт селективной очистки остаточный // Патент 2761220 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
26. Абиев Р.Ш., Здравков А.В., Кудряшова Ю.С. Способ получения нанопорошка иттрий-алюминиевого граната // Патент 2761324 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
27. Мамонтова Ю.Е., Стекольников Ю.А. Способ осаждения композиционного покрытия // Патент 2761573 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 34.
28. Макинни Р.Д., Сюй Ю. Пористый материал на основе сложного полиэфира // Патент 2761619 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 35.
29. Красильников В.Н., Гырдаасов О.И. Способ получения нанопорошка триоксида ванадия // Патент 2761849 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 35.
30. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Разумеев К.Э., Писаренко Ж.В., Деменев А.В. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть VI // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 6. С. 370–378. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378>.
31. Смовж Д.В., Маточкин П.Е., Безруков И.А., Кривенко А.С. CVD-реактор рулонного типа // Патент 2762700 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 36.
32. Сыкчин А.С., Вепрева А.И., Спилов И.В. и др. Гибридный суперконденсатор на основе наноразмерного гидроксида никеля // Патент 2763028 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 36.
33. Будыка А.К., Екидин А.А., Васянович М.Е. и др. Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности. Современные задачи инженерных наук: сб. научных трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского Форума. Москва. 2021. С. 95–102.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Бокова Елена Сергеевна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и технологии полимерных материалов и нанокмпозитов, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (РГУ им. А.Н. Косыгина), Москва, Россия, esbokova@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7769-9639>

Ишков Александр Дмитриевич – канд. психол. наук, доцент, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), зав. кафедрой Социальных, психологических и правовых коммуникаций, Москва, Россия, aishkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1709-0175>

Борисова Оксана Николаевна – канд. техн. наук, доцент, Высшая школа сервиса, Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Россия, borisova-on@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7391-6170>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 28.12.2021; одобрена после рецензирования 27.01.2022; принята к публикации 31.01.2022.

WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

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

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

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

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

Introduction to MSE Discipline of Wuhan University of Technology

1. Briefs of WUT’s MSE

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

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

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



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

2. Representative Achievements and Academics

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

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

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

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

3. Talents Cultivation and Representative Graduates

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

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

4. Domestic and International Impacts

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

of the National Natural Science Foundation of China since 2019.

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

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

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

Overview of International School of Materials Science and Engineering

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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

scientists to conduct collaborative research in the laboratory.

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

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

Introduction to Interdisciplinary Materials

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

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

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



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

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

Contact information

Address: 122 Luoshi Road, Hongshan District, Wuhan, Hubei, P. R. China
Postal Code: 430070
Supporting Institution: Wuhan University of Technology
Tel: 86-27-87884448; Fax: 86-27-87879466
E-mail: sklwt@whut.edu.cn
Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

R

УХАНЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

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

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

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

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

Краткое описание

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

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



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

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

Значимые достижения и профессорско-преподавательский состав

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

Репрезентативные достижения и профессорско-преподавательский состав за 2016–2020

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

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

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

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

Подготовка высококвалифицированных кадров и известные выпускники

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

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

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

Внутренние и международные контакты

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

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

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

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

Обзор международных школ по материаловедению и инженерному делу

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

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



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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Знакомство с журналом

«Междисциплинарные материалы»

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

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

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

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

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



Контактная информация

Уханьский технологический университет

430070, Китай, провинция Хубей, г. Ухань,
район Хуншань, 122 Луоши Роуд,
Тел: 86-27-87884448; Факс: 86-27-87879466
E-mail: sklwt@whut.edu.cn
Контактные лица: Джао Сянг, Джоу Лихуа

R

Synthesis of life support nanotechnologies into a replicable autonomous engineering system of an individual dwelling house

Valery V. Belozеров^{1*} , Igor V. Voroshilov² , Sergey N. Oleinkov³ , Vladimir V. Belozеров¹ 

¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

² Krasnodar Compressor Plant LLC, Krasnodar, Russia

³ Academy of State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

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

ABSTRACT: Introduction. Currently, one can witness a boom of renewable energy in foreign countries: zones with earth, coastal and even offshore wind power plants are emerging, and the roofs of houses, hotels, schools and hospitals are being "dressed" by solar batteries and by panels to generate electricity and water. At the same time, despite the fact that these installations are unreliable and rare sources, many experts and politicians begin to mistakenly consider them as the basic ones. All that poses a scientific and technical problem of determining the place of nature-like technologies in the structure of life support systems of the population.

Methods, models and tools. The paper analyzes the engineering systems of multi-apartment residential buildings and individual residential buildings that deliver life support resources (electricity, gas, cold and hot water, etc.). But one should also note that the engineering systems often keep potential fire-energy and environmental harm. To resolve the mentioned problems, some nanotechnologies and Russian patents concerning autonomous electricity, water, heat supply of individual residential buildings on them were proposed. **Results and discussion.** Modeling has shown that the combination of "Shukhovskaya" and vortex wind turbines with domestic hydraulic panels and solar panels makes it possible to create duplicated and tripled engineering systems of individual residential buildings, which, in terms of quality, reliability and safety parameters, are several orders of magnitude higher than the existing centralized resource supply systems for the residential sector of cities and rural settlements. **Conclusion.** The proposed approach makes it possible to determine the place of the so-called renewable energy in the structure of the resource supply system for cities and rural settlements, and it remains to assess its effectiveness, which is supposed to be done using the Leontiev-Ford model and the retro-forecasting method.

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

FOR CITATION: Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Oleinikov S.N., Belozеров V.V. Synthesis of life support nanotechnologies into a replicable autonomous engineering system of an individual dwelling house. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 33–42. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-33-42>.

INTRODUCTION

For more than five years, a set of rules "Engineering systems of high-rise buildings" has been in force, which require [1]:

firstly, vertical zoning of high-rise buildings, i.e. their separation by technical floors every 50 meters of height, on which engineering equipment and communications are located,

secondly, automation of engineering systems of high-rise buildings to ensure the reliability and safety of their operation.

The conducted studies have shown [2, 3], in addition to administrative high-rise buildings and multifunctional residential complexes, these rules included typical multi-apartment residential buildings with 25 floors and above, behind which there is the future development of Russian cities [1, 4, 5].

To improve the reliability and safety of engineering systems of high-rise buildings, nanotechnologies and innovations were proposed, including the intellectualization of household electrical appliances, which proved the possibility of achieving the required level of safety for living in them – 0.999999 [6–8].

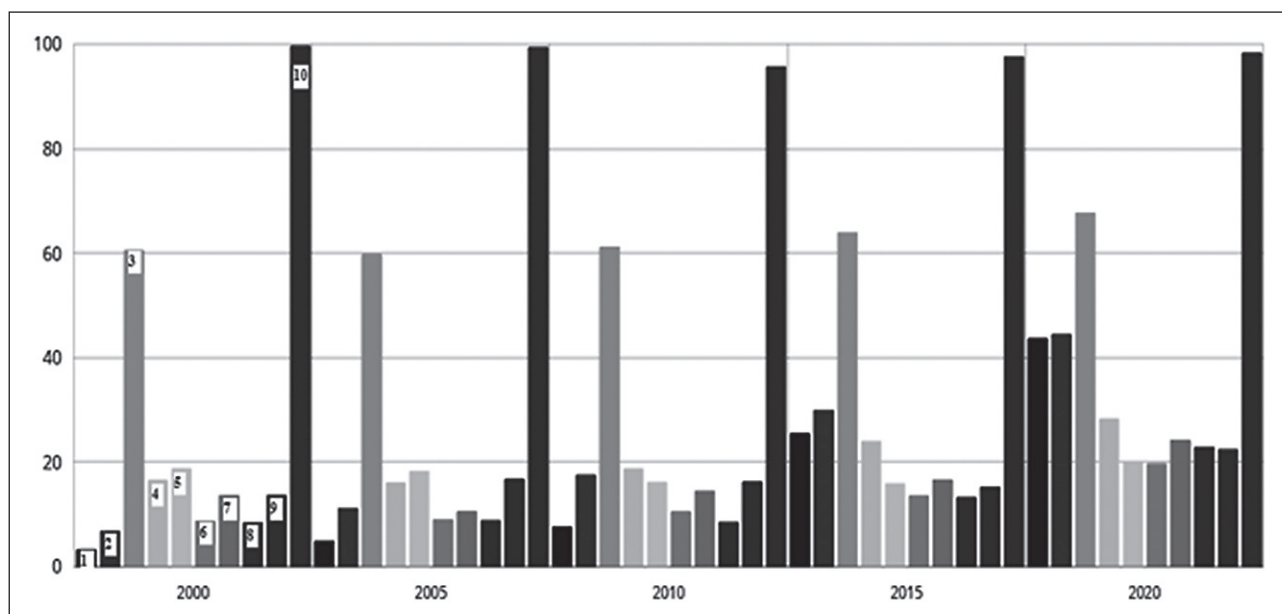


Fig. 1. Dynamics of RES electricity generation in the world in 2000–2020 (%): 1 – Great Britain; 2 – Germany; 3 – Canada; 4 – China; 5 – Russia; 6 – USA; 7 – France; 8 – Australia; 9 – India; 10 – Novegia

However, all the proposed solutions to the problems of safe life in high-rise buildings entailed significant additional costs for their construction and operation, as well as an increase in energy consumption in them [3, 7, 9]. In this connection, it was decided to return to the problems of centralization and decentralization of gas-energy-heat-water supply and wastewater disposal of buildings and structures, which can remove almost all existing problems, but requires a comparative analysis of the costs of scientific and technical work (research, design, manufacturing, testing) and construction (design, construction, installation and commissioning) [2, 10, 11].

Moreover, despite the fact that renewable energy sources (RES) are unstable, low-concentrated and periodic energy sources, many experts and politicians, of course, mistakenly begin to consider them as the basic ones, because over the past 15 years (Fig. 1), their installed capacity has increased 10 times and by the end of 2019 exceeded the output of nuclear power plants [12, 13].

As for Russia, the renewable energy industry, although it has been very actively developing in recent years, still its share is extremely small. So, for example, by 2020 wind power plants (WPP) with a capacity of 184 MW and 1.4 GW – solar power plants (SPP) were put into operation, which is less than 1% of the capacity of the entire energy system, since traditional generation still dominates in our country: 66.8% is accounted for by thermal power plants using coal and gas, 20.2% by nuclear power plants and 12.3% by hydroelectric power plants (HPPs) [14].

At the same time, in our country, mostly in rural areas, and also because of the huge undeveloped territories, construction of individual residential buildings

and gasification of the rural settlements, in which these buildings are located, are also being intensively developed [10].

Therefore, taking into account domestic inventions in the field of autonomization of obtaining energy resources (electricity, water, etc.) [14–22], a scientific and technical problem arises to synthesize a decentralized system of safe life of the population, i.e. creation of an autonomous engineering system of an individual residential building (AES IRB).

METHODS, MODELS AND TOOLS

Partially, from the point of view of power supply and heating / cooling of an individual residential building, such a problem has already been solved by us and it can be argued that the currently produced water, air or infrared electric heating installations, in addition to the possibility of their independent installation and operation, have significant advantages [9, 10]:

firstly, the simplicity of control and regulation of work, by setting the required temperature (control of fuel consumption is not required),

secondly, modern radiators, convectors and infrared emitters allow you to set a comfortable mode within 10 minutes after turning them on,

thirdly, electric heating makes it possible to exclude explosions and fires from domestic gas leaks, which have become more frequent in recent years in Russia.

A comparative analysis of the existing methods and means of life support for individual residential buildings led to the conclusion that it became possible to consi-



Fig. 2. Combined home heating / cooling system:
1 – Inverter; 2 – Controller; 3 – Remote control access; 4 – Battery; 5 – Electricity meter-detector; 6 – Compensator reactive power; 7 – Household electrical appliances; 8 – Washing machine; 9 – Dryer for clothes; 10 – Heat pump-vortex cooler; 11 – Electric boiler; 12 – Socket; 13 – Power grid; 14 – Router

tently increase the efficiency of the system (Fig. 3) of electric heating / cooling (electric boilers, split systems, etc.) by installing and integrating solar batteries (Fig. 2), with a wind power plant (WPP), in particular with a small-sized wind generator (Fig. 4, 5) and a source for obtaining water from the air (Fig. 6), i.e. creation of an autonomous and environmentally friendly automated engineering system of an individual dwelling house (AIS IRB) [7, 8, 10].

The weak point of electric heating systems, but quite surmountable, as studies have shown, are electric boilers, the fire hazard of which, for example, EPO-108, was reduced by its intellectualization – the introduction of thermoelectronic protection modules [9, 23], or by using an electric boiler with induction heating (Fig. 3).

This type of heating boilers has a number of advantages over traditional heating elements [9, 24]:

firstly, the complete absence of any heating elements, as well as moving and highly loaded elements that are subject to wear during operation and require periodic replacement;

secondly, the ability to operate from a low voltage and constant current power supply, which is usually unacceptable for other types of electric boilers;

thirdly, the boiler design does not contain detachable connections, i.e. the likelihood of leakage is completely excluded;

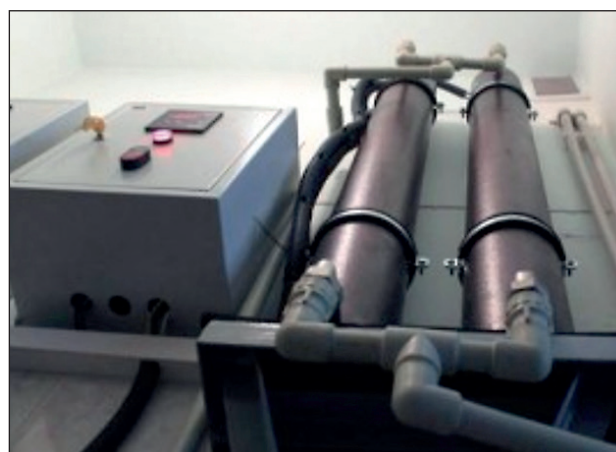


Fig. 3. External view of the installation with induction heating

fourthly, significantly faster heating to operating temperature, in comparison with any other types of heating electric boilers, and low inertia allows you to save energy due to effective control of the boiler using automation (by maintaining the temperature at a strictly specified level, i.e. when it rises, the power supply to the boiler is turned off and resumed only when the temperature drops below the one set by the user);

fifth, protection against scale formation due to the small temperature difference between the heater and the coolant, not exceeding 3°C, as well as due to high-frequency vibrations caused by eddy currents that repel salt ions from the inner walls of the pipe;

sixth, high fire resistance and electrical safety, since the heating element (core) is not electrically connected to the inductor (primary winding) directly, and the temperature difference between the core and the coolant does not exceed 30°C;

seventh, there is no need to install the induction boiler in a separate room, because it is absolutely silent, and its installation does not require the involvement of highly qualified specialists;

eighth, like any electric heater, the efficiency of such a boiler is close to 100% and does not change over the years of its operation, unlike electrode boilers and with heating elements, with an average service life of 25 years and more (depends on the thickness of metal pipes forming the core of the boiler), while no maintenance work is required with this equipment;

ninthly, it allows you to use almost any coolant in the heating system (water, antifreeze, oil, etc.), and without any preliminary preparation and replacement of the spent coolant in the system no more than once every 10 years and use for any closed heating systems, including for warm floor and for baseboard heating, because the minimum threshold for the heating agent heating temperature is 35°C.

Warm floors were developed almost half a century ago for livestock farms [25], therefore, the use, along with water batteries, of modern polymer structures of water heat-insulated floors ensure their safety and high reliability [26], and in the solar subsystem high indicators of reliability and safety are provided by the controller and the intellectualization of the inverter [9,12].

RESULTS AND DISCUSSION

Vane-type wind turbines with powers ranging from 1–3 kW to 5–6 MW are currently the most widespread. At the same time, hundreds of companies and firms in Europe, USA, China, Japan, India, Brazil, etc. are engaged in the production of wing-type wind turbines.

Such wind turbines generate exclusively direct current, in connection with which, like solar batteries, they are supplemented with batteries and converters (inverters) of direct current into alternating current, and due to their overall dimensions, they require special supports (Fig. 4). At the same time, the boom of VEUization has reached the point that they are beginning to be placed not only on fields and roads (Fig. 4a), but also in the sea (Fig. 4b) [13].

In Russia, the production of wind turbines is in its infancy [13, 27] and, unlike bulky vane wind generators, there are developments of wind turbines with a vertical axis of rotation (Fig. 5a), incl. small-sized with the original “Shukhov” scheme (Fig. 5b) [28, 29].

So, for example, the head prototype with a longitudinal rotating type of blades (VES-15) “Wind-Rotor” of

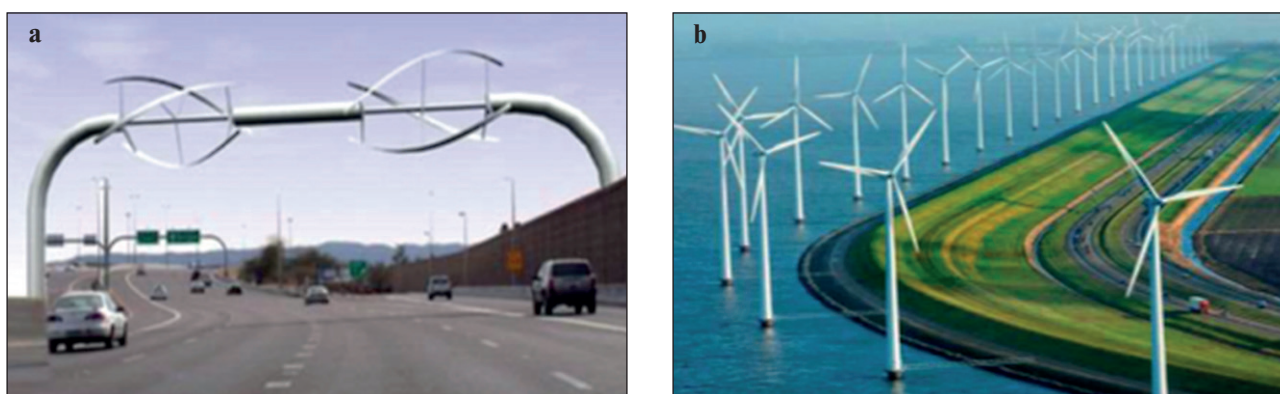


Fig. 4. Placement of wind turbines

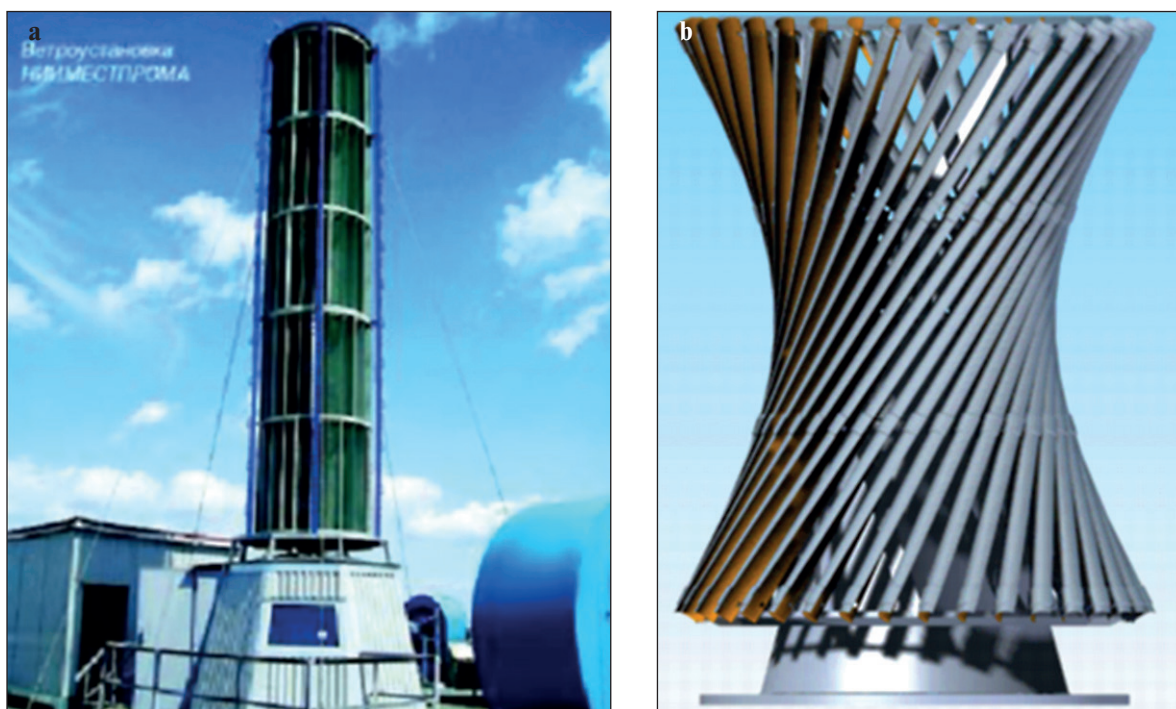


Fig. 5. Wind turbines with a vertical circuit

Table 1
Comparative data of wind turbines

Parameters	Wind generator vane type	Wind turbine vertical axis	Wind turbine «Shukhova»
Power, kW	1.0	1.0	1.0
Dimensions, mm	Diameter – 2800 (the circle described by the blades)	Diameter – 454, Blade height – 4000	Diameter – 520, Height – 850
Weight, kg (wind turbine+ generator)	70	98	43
Wind force when starting, m/s	2.0	3.0	1.0
Rotation frequency, rpm	300...400	180...300	600...900
Complete set	Wind turbine, Generator, Battery, Inverter, Cable assembly, Guyed mast	Wind rotor, Generator, Rectifier, Controller, Cable assembly, Guided mast	Wind turbine, Generator, Transformer
Cost, EUR	1300 (manufacturer China)	3350 (manufacturer Ukraine)	250 (manufacturer Russia)

the Design Bureau of the Research Institute of Mestprom (Nizhny Novgorod) has a power of 15 kW and has the following advantages over vane wind generators [28,29]:

firstly, effective work at low wind speeds (from 1 m/s and above);

secondly, heir wind resistance, because with increasing wind speed, stability increases (spinning top effect);

thirdly, work in any directions of wind speed;

fourthly, modular design, which allows you to gain the required power due to the number of modules;

fifth, the ability to work in stationary and mobile versions.

The technical and economic data of the listed wind generators (Table 1) indicate, firstly, the significant parametric advantages of the small-sized “Shukhovskaya” wind power generating turbine, and secondly, its competitive of quality price in comparison with vane and vertical rotary installations – almost an order of magnitude cheaper [28, 29].

Small-sized “Shukhovskaya” wind power generating turbine (PGT) with a capacity of 1 KW (Fig. 5b) for domestic use (design range 3.5 and 7 KW), has the following characteristics [29]:

a) the largest rotor diameter – 550 mm, height – 850 mm;

b) the mass of the unit is 43 kg, the mass of the rotor is 10.4 kg.

c) the line of contact of the active layer of the air flow washing the hyperboloid is 1.6 times longer than the similar line of the rotating cylinder of a rotary-type wind generator with straight blades, and therefore, the

efficiency of the wind turbine will be higher in proportion to the same value;

d) the total moment of inertia of the structure is determined as the sum of the products of the masses of material points by the value of the square of the length of the radius, that is

$$I = \sum m_n \cdot R_n^2$$

whence it follows that the moment of inertia at rest of the structure is at least twice less than the moment of inertia of the rotating cylinder of a wind turbine with straight blades, and, therefore, the required wind force at the moment of the start of movement is two times less, and also conditions of self-priming and self-support are created as in helicoidal turbines;

e) the constructive structure of the working body, combined with lightness, strength and balance, allows the installation units (gearbox, electric generator, etc.) to be placed inside the built-in volume, which reduces the dimensions and weight of the entire installation as a whole.

Thus, by installing PGT (Fig. 5b) on the roof ridge (Fig. 2) of an individual residential building (next to solar panels), we will get a duplicated system of its power supply.

Many patents of the Russian Federation are devoted to the production of water from atmospheric air [16–22]. However, from the point of view of the reliability of engineering systems of buildings, in particular, the water supply subsystem, the most effective is the use of a small-

sized installation with a Venturi pipe (Fig. 6), which is a device for obtaining water from atmospheric air and generating electricity. The installation works as follows. Atmospheric air enters the outer vertical cylinder 7 and moves downward through the dry channel 9, cooling due to contact with the cold wall of the inner vertical cylinder 6 of the wet channel 10. Due to the evaporation of water from the hydrophobic capillary-porous surface 8 covering the inner side of the inner cylinder 6, the temperature in the lower part of its cold wall drops to a temperature close to the dew point temperature. In this case, condensation of moisture vapor contained in the atmospheric air occurs, drops of condensate of these vapors are collected on the droplet grid 12, and through the moisture drain plates 13 the condensate flow enters the water tank 14. A smaller part of this condensate is pumped through the pipeline 11 to the upper part of the hydrophobic surface 8 to wet it with water, and most of the condensate from the water tank 14 is fed to the consumer through the second pipeline for removing condensed fresh water 15. The cooled air flowing around the plates 13 turns and moves upward along the wet channel 10. Due to the evaporation of water into the air from the moist hydrophobic capillary-porous surface 8, covering the inner side of the inner vertical cylinder 6, the relative humidity of the air approaches 100%. In this case, when the humidified air moves along the wet channel 10, its mass increases and its density decreases. Therefore, the pressure of moist air at the exit from the wet channel 10 becomes lower than the pressure of atmospheric air, which increases the vacuum in the narrow section of the Venturi pipe 3. The increasing difference in atmospheric air densities at the entrance to the annular air nozzle 2 and in the narrow section of the Venturi pipe 3 provides an increase in the speed of the air flow in the dry 9 and wet 10 channels, and also leads to an additional acceleration of the air speed into tube of Venturi 3, that increase in the generation of electricity by the electric generator 4 [22].

Thus, the use of the PGT design, which, in addition to fresh water from the air, allows using a wind power plant with a horizontal wind wheel and an electric generator to also receive electricity, creates conditions for obtaining a **“triple power supply system” of an individual residential building**, as is customary at nuclear power plants [30], i.e. **with a probability of failure not higher than 10^{-7} . This means that over 100 years (8760 hours • 60 minutes • 100 years = $5.256 \cdot 10^7$ minutes), the permissible power outage will be 5.3 minutes!**

It is appropriate to compare the reliability of the existing system of centralized power supply of the residential sector of cities and rural settlements, which is spelled out by law in Article 38 of the Federal Law-35 “On Electricity” [31]:

*“1. **Subjects of the electric power industry that ensure the supply of electrical energy to consumers of electrical energy,***

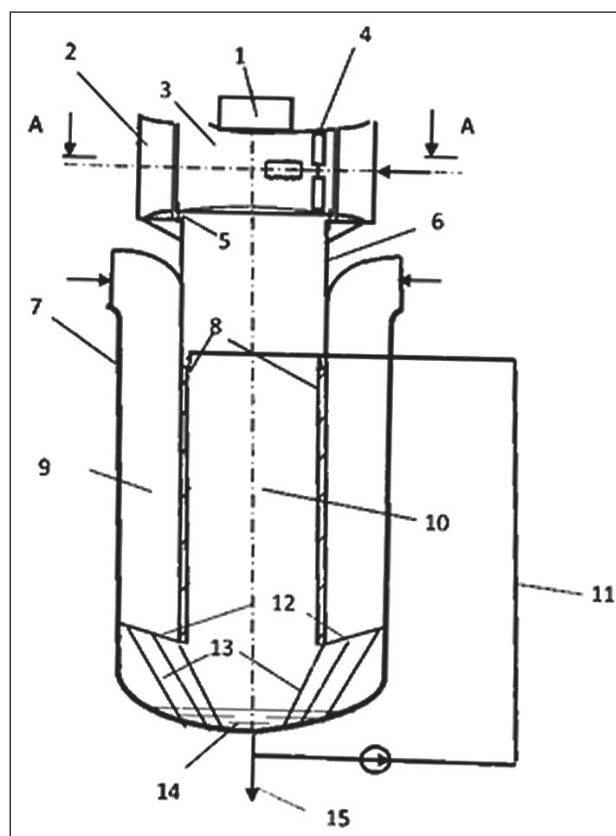


Fig. 6. **Vortex water-wind power plant:** 1 – air vane; 2 – stationary annular air nozzle; 3 – Venturi pipe; 4 – wind power plant with a wind wheel and an electric generator; 5 – bearing; 6 – inner vertical cylinder; 7 – outer vertical cylinder; 8 – hydrophobic capillary-porous surface; 9 – “dry” channel; 10 – “wet” channel; 11 – irrigation water pipeline with a pump; 12 – drip grid; 13 – plates of condensed moisture drain; 14 – water tank; 15 – fresh water outlet pipeline

*including energy sales organizations, guaranteeing suppliers and territorial grid organizations (within the limits of their responsibility), **are responsible to consumers of electrical energy for the reliability of supplying them with electrical energy and its quality in accordance with the requirements of technical regulations and other mandatory requirements...***

*2. **The basis of the system for the reliable supply of electricity to consumers is a reliable power supply scheme and the fulfillment of all the requirements of the rules for the technical operation of power plants and networks, as well as the presence of specialized organizations on the retail markets – guaranteeing suppliers”.***

However, **the Technical Regulations for the electric power industry do not exist – there is only Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of October 25, 2017 No. 1013 “On approval of requirements for ensuring the reliability of electric power systems, reliability and safety of electric power facilities and power**

receiving installations” Rules for organizing maintenance and repair of electric power facilities “, **in which there is no specific value of reliability and safety for the system** [32].

And the only document remains – GOST 32144-2013 [33], from which it follows (clause 4.3 Random events “and subclause 4.3.1” Voltage interruptions “) that “*Accidental voltage interruptions are divided into long-term (duration more than 3 minutes) and short-term (duration no more than 3 minutes). The annual frequency of long voltage interruptions (lasting more than 3 minutes) largely depends on the characteristics of the power supply system (primarily, the use of cable or overhead lines) and climatic conditions.*”

Therefore, taking into account the climatic conditions and almost 25% of losses in the existing “cable or overhead lines”, the minimum probability of a power outage is allowed – $5.7 \cdot 10^{-6}$ (3 minutes / 8760 hours), and the maximum – $1.0 \cdot 10^{-3}$ (9 hours / 8760 hours), if we take into account the following “permit for poor quality supply of electricity” [33]: “*A.2 Overvoltage. On average, about 30 overvoltage’s are possible at the point of connection per year. ... The level of such overvoltage’s with significant non-symmetry of phase loads can reach the values of line voltage, and the duration – several hours*” (i.e. less than 10).

Thus, the reliability, safety and quality of power supply of the proposed replicated autonomous engineering system of an individual residential building (AES IRB) is at least 60 times higher than the centralized power supply of the residential sector, and taking into account overvoltages that are excluded in the triple system by nanotechnology of their suppression [6–8] – 10 800 times higher in AES IRB.

Duplication of the water supply subsystem of the AES IRB can be carried out with 4 domestic hydropanels (Fig. 7a), each of which can generate up to 5 liters of water

per day. The hydropanel (heliothermal adsorption generator of atmospheric water) works on the principle of physical adsorption on a daily cycle: at night at a temperature of 20°C or less, the air flow passes through a nanoporous adsorbent (Fig. 7b), which selectively absorbs moisture from the air, and during the day solar energy heats up a selective screen, which transfers heat to the adsorbent, moisture is released from it, which condenses on the cold screen and flows from it into the collector [34].

It is advisable to organize the tripling of the engineering system of an individual residential building in terms of water supply using the “AQUAMATIC” installation (Fig. 8), in which air passing through an electrostatic filter (1) enters the condenser (2), where it is cooled to the dew point and the steam present in it turns into water. The water flows into the water collection tray (3), and, passing through the zeolite filter, enters the lower storage tank. Here the water undergoes the first ultraviolet sterilization. Then, the high pressure pump (4) pumps water through the filter system (5) and it enters the upper storage tank with a volume of 12.5 liters. (6), and from it into the tank (7) of cold water (temperature 4–10°C, volume 2 liters) and hot water (temperature 90–95°C, volume 1.8 liters). The performance of the installation (Fig. 8) depends on the humidity of the ambient air [35].

Calculations, by analogy with power supply, have shown that the reliability, safety and quality of the proposed AES IRB, in terms of water supply, is 10 000 times higher than centralized water supply and heat supply for the residential sector and 1000 times higher than borehole systems with combined gas water heating devices (GWHD).

Consequently, the place of nature-like technologies, alternative energy in particular, in the world energy sys-

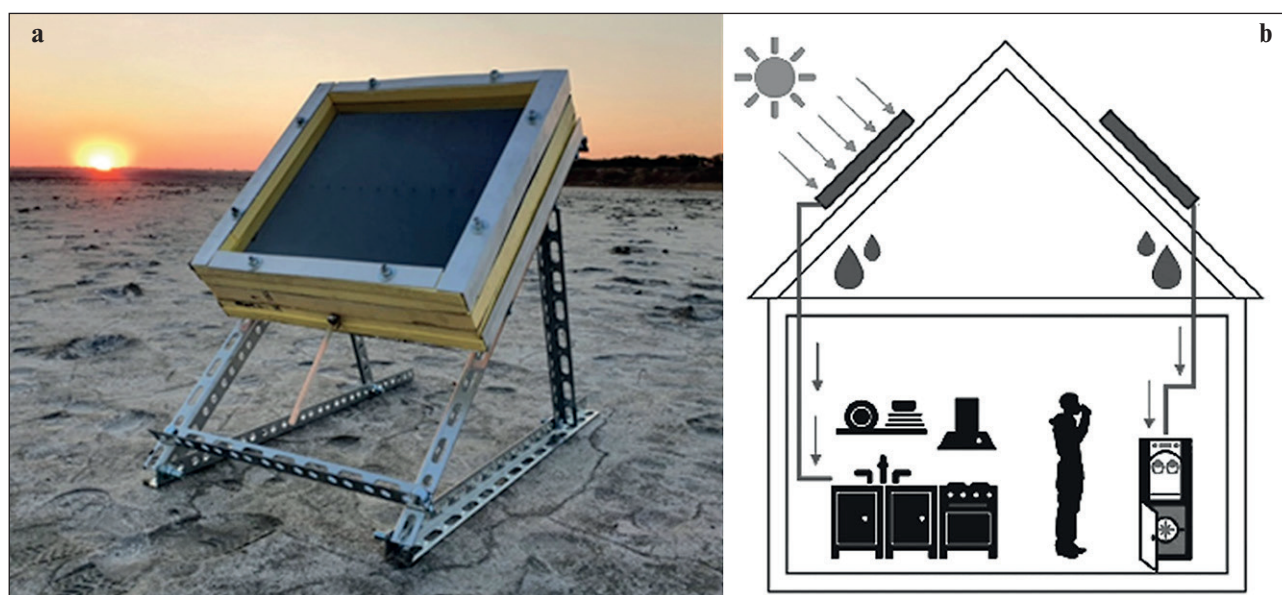


Fig. 7. Hydro panels of “ITR UNISORB” LLC

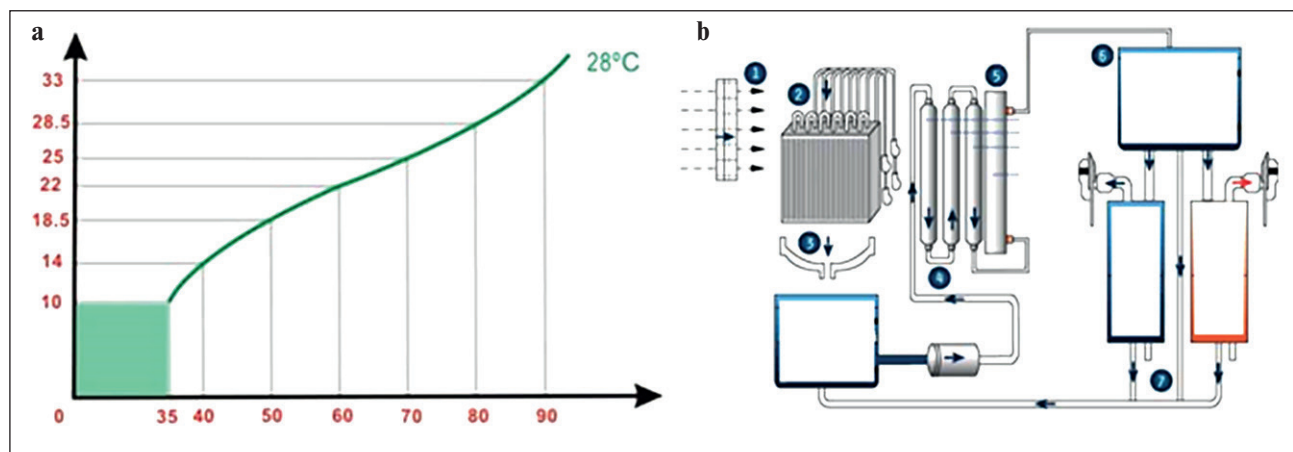


Fig. 8. Block diagram and performance diagram of “AQUAMATIC”:

1 – Electrostatic filter, 2 – Condenser, 3 – Lower tank with zeolite filter, 4 – Pump, 5 – Filter system, 6 – Upper water tank (12.5 L), 7 – Tanks: for cold water (2L, 4–10°C) and hot water (1.8 L, 90–95°C)

tems of various states, including in our country, becomes obvious. And it will remain to carry out a comparative analysis, but not the socio-economic efficiency of the proposed approach, as is customary in modern economic theories, but taking into account the self-organization of the received benefits and the harm produced (public, collective and private), that is, by the method of retro forecast of socio-economic losses in society, from the point of view of life safety (fire, environmental, etc.) [36, 37].

This will be done in a separate article and, it is pertinent to note that of all the unnatural-mathematical models of economics for which the Nobel Prizes in economics have been handed out over the past 45 years, will be used the method of intersectoral balance of a Russian scientist, Nobel laureate, foreign member of the Academy Sciences of the USSR Leontiev V.V., in the form of the Leontiev-Ford model adapted for these purposes [39], together with the models of retro-forecast of noosphere [38, 39].

CONCLUSION

An analysis of the directions and rates of development of renewable energy in the world has shown that these installations are unstable, low-concentrated and periodic

sources, and therefore, their haphazard use is a serious mistake of scientists, specialists and politicians. Based on the analysis of engineering systems of multi-apartment residential buildings and individual residential buildings, as well as fire-energy and environmental damage resulting from their operation, nanotechnologies and Russian patents are proposed that implement nature-like technologies that allow solving the problems of autonomous electricity, water, heat supply of individual residential buildings. It is shown that the integration of “Shukhovskaya” and vortex wind turbines, hydraulic panels and solar panels makes it possible to create a replicated autonomous engineering system for individual residential buildings (AES IRB).

By duplicating and tripling, the AES IRB can provide individual residential buildings with electricity, water and heat with quality, reliability and safety parameters that are several orders of magnitude higher than the existing centralized resource supply systems for cities and rural settlements.

The proposed approach, using the Leontief-Ford model and the retro-forecasting method, will allow in the future to accurately determine the place of the so-called renewable energy in the structure of the resource supply system for cities and rural settlements.

REFERENCES

1. Standartinform. SP 253.1325800.2016. Engineering systems of high-rise buildings. Moscow: 2017.
2. Perikov A.V. System analysis and nanotechnology of safety in engineering systems of residential high-rise buildings. *Nanotechnologies in Construction*. 2018; 10(2): 114–130. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-114-130>.
3. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Denisov A.N., Nikulin M.A., Oleinikov S.N. Nanotechnology of “intellectualization” of energy accounting and suppression of fire and energy harm in engineering systems of residential buildings. Part II *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(3): 171–180. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-3-171-180>.

4. Ministry of Emergencies of Russia. SP 8.13130. Fire protection systems. External fire water supply. Fire safety requirements. 2020.
5. Ministry of Emergency Situations of Russia. SP 10.13130. Fire protection systems. Internal fire-fighting water supply. Standards and design rules. 2020.
6. Belozеров V.V., Belozеров V.I., Dolakov T.B., Nikulin M.A., Oleinikov S.N. Nanotechnology of “intellectualization” of energy accounting and suppression of fire and energy harm in engineering systems of residential buildings. Part I *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 95–107. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107>.
7. Belozеров V.V., Oleinikov S.N. Method for determining fire and electrical harm and hazardous fire factors using an electric meter-detector. RF Patent 2622558. 2017-06-16.
8. Belozеров V.V. “Intelligent” ventilation and air conditioning system in apartments of multi-storey buildings and in individual residential buildings with nanotechnology for protection against fires and explosions. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(6): 650–666. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-650-666>.
9. Belozеров V.V., Dolakov T.B., Belozеров V.I. About safety and prospects of electric heating in individual residential houses. *Modern high technology*. 2017; 11: 7–13.
10. Belozеров V.V., Dolakov T.B., Oleinikov S.N., Perikov A.V. *Synergetics of life safety in the residential sector*. Moscow: Publishing house of the Academy of Natural Sciences; 2017. DOI: [dx.doi.org/10.17513/np.283](https://doi.org/10.17513/np.283).
11. Belozеров V.V. On the cognitive model of safety management of objects with mass presence of people (based on the results of the examination of the fire of the Turgenevsky market). *Security Issues*. 2018; 5: 35–62. DOI: [dx.doi.org/10.25136/2409-7543.2018.5.27485](https://doi.org/10.25136/2409-7543.2018.5.27485).
12. Elistratov V. V. *Renewable energy*. 3rd ed. add. SPb.: Publishing house. Polytechnical University; 2016.
13. Armless P.P., Armless P.P. (Jr.), Gribkov S.V. *Wind power: Reference and methodological publication*. Under the general editorship of P.P. Handless. Moscow: “Intekhenergo-Izdat”, “Teploenergetik”; 2014.
14. Wind power generator their efficiency, advantages and disadvantages. Available from: <https://voltobzor.ru/poleznye-stati/vetryanoj-elektrogenerator-vetryaki-ix-effektivnost-preimushhestva-i-nedostatki> [Accessed 25th December 2021].
15. Order of the Government of the Russian Federation of April 30, 2021 No. 1152-r “On gasification of the constituent entities of the Russian Federation” [Electronic resource]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400640027/> [Accessed 25th December 2021].
16. Serebryakov R.A., Dorzhnev S.S., Bazarova E.G. *Vortex installation for condensation of moisture from atmospheric air*. RF Patent 2683552. 2018-06-29.
17. Dorzhnev S.S., Bazarova E.G., Izmailov A.Yu., Pimenov S.V. *Method and installation of fire-fighting water supply for arid regions*. RF Patent 2686195. 2018-09-08.
18. Biryuk V.V., Sheludko L.P., Gorshkalev A.A., Shimanov A.A., Belousov A.V., Gallyamov R.E. *Device for obtaining water from atmospheric air and generating electricity*. RF Patent 2620830. 2016-03-09.
19. Antufiev I.A. *Device for obtaining water in the desert*. RF Patent 2526628. 2014-08-27.
20. Romanovsky V.F., Romanovsky A.V. *A method for extracting water from air and a device for its implementation*. RF Patent 2081256. 1997-06-10.
21. Alekseev V.V., Rustamov N.A., Chekarev K.V. *Installation for obtaining fresh water from atmospheric air*. RF Patent 2131000. 1999-05-27.
22. Aristov Yu.I., Okunev A.G., Parmon V.N. *A method of obtaining water from air*. RF Patent 2272877. 2006-03-27.
23. Belozеров V.V., Reisenkind Ya.A., Rudkovskaya L.M., Khaishbasheva S.V., Fridman I.M., Belozеров V.I. *Methods for assessing fire hazard and reliability of an electrical heating device (EPO)*. Rostov-on-Don: EVAN; 2004.
24. An induction boiler is the best source of electric heat for heating systems. Available from: <https://zen.yandex.ru/media/rmnt/indukcionnyi-kotel-luchshii-istochnik-elektrotepla-dlia-otopitelnyh-sistem-5d2c7285fe289100adeaae7d> [Accessed 25th December 2021].
25. Belozеров V.V., Mikhalechuk A.N., Fomichev V.T., Goryachev O.N. et al. *Recommendations for the construction of electrically heated floors and panels*. Zernograd: VNIPTIMESH; 1986.
26. Nikolaev S.V. Water heat-insulated floor with steel character. *Industrial electric heating and electric heating*. 2015; 2: 68–71.
27. Smirnov A.N. Wind power plants. Realities and prospects. Available from: <http://www.niimestprom.ru/?id=1232> [Accessed 25th December 2021].
28. Smirnov A.N. Report on the creation of wind power plants. Available from: <http://www.niimestprom.ru/?id=1231> [Accessed 25th December 2021].
29. Law of the Nizhny Novgorod region of 26.04.2007 “On approval of the agreement between the Government and JSC” Scientific Research Design and Technological Institute of Local Industry “NIIMESTPROM” No. 413-P/1. *Lobbyist*. 2007; 6: 36–39.

30. Federal regulations and regulations in the field of use of atomic energy general provisions of providing the safety of nuclear power plants. OPB-88/97. NP-001-97 (PNAE g-01-011-97). Available from: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=97305> [Accessed 25th December 2021].
31. Federal Law No. 35 of March 26, 2003. On the Electricity Industry (as amended on 06.11.2021). Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ [Accessed 25th December 2021].
32. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of October 25, 2017 No. 1013 “On approval of requirements for ensuring the reliability of electric power systems, reliability and safety of electric power facilities and power receiving installations” Rules for organizing maintenance and repair of electric power facilities “(Registered with the Ministry of Justice of Russia on 26.03.2018 N 50503, as revised on 13.07.2020). Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71807490/> [Accessed 25th December 2021].
33. GOST 32144-2013. Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Electricity quality standards in general-purpose power supply systems. 2014. Available from: <https://files.stroyinf.ru/Index/54/54884.htm> [Accessed 25th December 2021].
34. Menshchikov E., Strizhenov E., Chugaev S., Shkolin A. Autonomous systems for generating drinking water. Available from: <https://s3.dtl.ru/unti-prod-people/file/presentation/project/87if11tp96.pdf> [Accessed 25th December 2021].
35. Atmospheric water generator AQUAMATIC. Available from: <https://dmsht.ru/voda-iz-vozduha-atmosfernyy-generator/> [Accessed 25th December 2021].
36. Belozero V.V., Oleinikov S.N. Retro forecast of fires and their consequences as a method for assessing the effectiveness of innovations in the field of fire safety. *Security Issues*. 2017; 5: 55–70. DOI: [dx.doi.org/10.25136/2409-7543.2017.5.20698](https://doi.org/10.25136/2409-7543.2017.5.20698).
37. Belozero V. *Synergetics of safe life*. Rostov-on-Don: SFedU; 2015.
38. Leontiev V., Ford D. Interindustry analysis of the impact of the structure of the economy on the environment. *Economics and Mathematical Methods*. 1972; 8(3): 370–399.
39. Belozero V.V., Gavrilov V.M., Topolsky N.G. *Synergy systems of noosphere security*. Moscow: AGPS EMERCOM of Russia; 2020.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery V. Belozero – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automation of Industrial Processes, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, safeting@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6999-7804>

Igor V. Voroshilov – Cand. Sci. (Phys.-Math.), General Director of Krasnodar Compressor Plant LLC, Krasnodar, Russia, gendir@kkzav.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6546-1700>

Sergey N. Oleinikov – Cand. Sci. (Eng.), Deputy. Head of the Faculty of Training Scientific and Pedagogical Personnel, Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, osn-fire@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7449-2464>

Vladimir V. Belozero – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Automated Control Systems, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, isagraf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4758-1036>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Belozero V.V. – general scientific leadership; research methodology and "intellectualization" EPO-108; the concept of modeling "nature-like technologies"; AES IRB synthesis method; conclusions.

Voroshilov I.V. – development of models and means of energy saving, control and suppression of fire-energy harm; participation in the synthesis of AES IRB.

Oleinikov S.N. – development of methods and models of "fire-energy harm" for the residential sector and patents for them; analytical review and statistical analysis of reliability and fire safety in residential buildings; participation in the synthesis of AES IRB.

Belozero V.V. – participation in research and "intellectualization" EPO-108; writing programs for statistical processing of research results; development of software and hardware; participation in the synthesis of AES IRB.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 02.01.2022; approved after reviewing 28.01.2022; accepted for publication 02.02.2022.

Научная статья

УДК 697.97+614.844: 614.838

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-33-42>

CC BY 4.0

Синтез нанотехнологий жизнеобеспечения в тиражируемую автономную инженерную систему индивидуального жилого дома

Валерий Владимирович Белозеров^{1*}, Игорь Валерьевич Ворошилов²,
Сергей Николаевич Олейников³, Владимир Валерьевич Белозеров¹

¹ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

² Краснодарский компрессорный завод, Краснодар, Россия

³ Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

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

АННОТАЦИЯ: Введение. В настоящее время за рубежом наблюдается «бум» так называемой возобновляемой энергетики – возникают «поля» земляных, прибрежных и даже морских ветроэнергетических установок, а крыши домов, гостиниц, школ и больниц «одеваются» солнечными панелями для получения электроэнергии и воды. При этом несмотря на то, что указанные установки являются нестабильными, низко концентрированными и периодическими источниками, многие специалисты и политики начинают ошибочно рассматривать их в качестве базовых. В связи с чем, возникает научно-техническая задача по определению «места природоподобных технологий» в структуре систем жизнеобеспечения населения.

Методы, модели и средства. На основе анализа инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов, в результате функционирования которых осуществляется не только доставка ресурсов жизнеобеспечения (электроэнергии, газа, холодной и горячей воды и т.д.), но и возникает пожарно-энергетический и экологический вред, предлагаются нанотехнологии и российские патенты, их реализующие, которые позволяют решить проблемы автономного электро-, водо-, теплоснабжения индивидуальных жилых домов. **Результаты и обсуждение.** Моделирование показало, что использование комбинации «Шуховской» и вихревой ветроустановок с отечественными гидропанелями и солнечными батареями позволяют создать дублированные и троированные инженерные системы индивидуальных жилых домов, которые по параметрам качества, надежности и безопасности на несколько порядков превышают существующие централизованные системы ресурсоснабжения жилого сектора городов и сельских населенных пунктов. **Заключение.** Предлагаемый подход позволяет определить место так называемой возобновляемой энергетики в структуре системы ресурсоснабжения городов и сельских населенных пунктов, и остается оценить его эффективность, что предполагается выполнить с помощью модели Леонтьева-Форда и метода ретропрогноза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии автономизации, инженерные системы зданий, пожарно-энергетический вред, надежность, качество, безопасность.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Олейников С.Н., Белозеров Вл.В. Синтез нанотехнологий жизнеобеспечения в тиражируемую автономную инженерную систему индивидуального жилого дома // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 33–42. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-33-42>.

ВВЕДЕНИЕ

Уже более пяти лет действует свод правил «Инженерные системы высотных зданий», которые требуют [1]:

- во-первых, зонирования высотных зданий по вертикали, т.е. их разделения техническими этажами

через каждые 50 метров высоты, на которых размещаются инженерное оборудование и коммуникации;

- во-вторых, обязательной автоматизации инженерных систем высотных зданий для обеспечения надежности и безопасности их функционирования.

© Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Олейников С.Н., Белозеров Вл.В., 2022

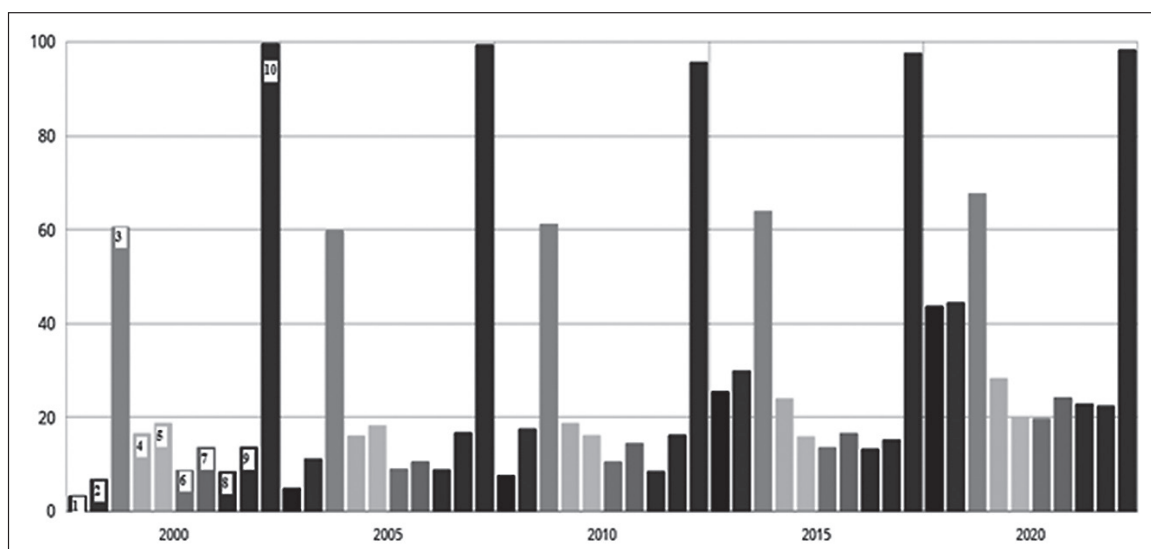


Рис. 1. Динамика выработки электроэнергии ВИЭ в мире 2000–2020 годах (%):

1 – Великобритания; 2 – Германия; 3 – Канада; 4 – Китай; 5 – Россия; 6 – США; 7 – Франция; 8 – Австралия; 9 – Индия; 10 – Норвегия

Как показали исследования [2, 3], кроме административных высотных зданий и многофункциональных жилых комплексов под действие этих правил попали типовые многоквартирные жилые здания в 25 этажей и выше, за которыми будущая застройка российских городов [1, 4, 5].

Для повышения надежности и безопасности инженерных систем высотных зданий были предложены нанотехнологии и инновации, включая интеллектуализацию бытовых электроприборов, которые доказали возможность достижения требуемого уровня безопасности проживания в них – 0,999999 [6–8].

Однако все предлагаемые решения проблем безопасной жизнедеятельности в высотных зданиях влекут за собой существенные дополнительные затраты на их строительство и эксплуатацию, а также повышение энергопотребления в них [3, 7, 9]. В связи с чем было решено вернуться к проблемам централизации и децентрализации газо-энерго-тепло-водоснабжения и водоотведения зданий и сооружений, что может снять практически все существующие проблемы, но требует компаративного анализа затрат на научно-технические работы (исследования, конструирование, изготовление, испытания) и строительство (проектирование, строительство, монтаж и наладку) [2, 10, 11].

Более того, несмотря на то, что возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются нестабильными, низко концентрированными и периодическими источниками энергии, многие специалисты и политики, конечно же, ошибочно начинают рассматривать их в качестве базовых, т.к. за последние 15 лет (рис. 1) их установленная мощность возросла в 10 раз

и по итогам 2019 года превзошла выработку АЭС [12, 13].

Что касается России, отрасль ВИЭ хоть и очень активно развивается в последнее время, но до сих пор ее доля крайне мала. Так, например, к 2020 году было введено в строй ветряных электростанций (ВЭС) мощностью 184 МВт и 1,4 ГВт – солнечных электростанций (СЭС), что меньше 1% мощности всей энергосистемы, т.к. у нас по-прежнему доминирует традиционная генерация: 66,8% приходится на тепловые электростанции на угле и газе, 20,2% – на атомные и 12,3% – на гидроэлектростанции (ГЭС) [14].

В то же время в нашей стране, наверное, традиционно в сельских районах, а также из-за огромных «неосвоенных территорий» не менее бурно развивается строительство индивидуальных жилых домов и «газификация села», где расположено их подавляющее количество [10].

Поэтому, учитывая отечественные изобретения в области «автономизации» получения энергоресурсов (электроэнергии, воды и др.) [14–22], возникает научно-техническая задача по синтезу «децентрализованной системы безопасной жизнедеятельности» населения, т.е. создания «автономной инженерной системы» индивидуального жилого дома (АИС ИЖД).

МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРЕДСТВА

Частично, с точки зрения электроснабжения и отопления/охлаждения индивидуального жилого дома, такая задача уже была решена нами и можно утверждать, что выпускаемые в настоящее время

установки водяного, воздушного или инфракрасного электрического отопления, помимо возможности их самостоятельного монтажа и эксплуатации, обладают существенными преимуществами [9, 10]:

- во-первых, простотой управления и регулировки работы, путем задания требуемой температуры (не требуется контроль потребления топлива),
- во-вторых, современные радиаторы, конвекторы и инфракрасные излучатели позволяют установить комфортный режим уже через 10 минут после их включения,
- в-третьих, электрическое отопление позволяет исключить взрывы и пожары от утечек бытового газа, которые участились в последнее годы в России.

Сравнительный анализ существующих методов и средств жизнеобеспечения индивидуальных жилых домов привел к выводу, что появилась возможность последовательного повышения эффективности системы (рис. 3) электрического обогрева/охлаждения (электродкотла, сплит-систем и т.д.) путем установки и комплексирования солнечных батарей (рис. 2), с ветроэнергетической установкой (ВЭУ), в частности с малогабаритным ветрогенератором (рис. 4, 5) и источником получения воды из воздуха (рис. 6), т.е. создания автономной и экологически чистой



Рис. 2. Комбинированная система электрообогрева/охлаждения дома: 1 – инвертор; 2 – контроллер; 3 – пульт удаленного доступа; 4 – аккумулятор; 5 – электросчетчик-извещатель; 6 – компенсатор реактивной мощности; 7 – бытовые электроприборы; 8 – стиральная машина; 9 – сушилка для белья; 10 – тепловой насос-вихревой охладитель; 11 – электродкотел; 12 – розетка; 13 – электросеть; 14 – роутер

автоматизированной инженерной системы индивидуального жилого дома (АИС ИЖД) [7, 8, 10].

Слабым местом систем электрообогрева, но вполне преодолимым, как показали исследования, являются электрические котлы, пожарную опасность которых, например, ЭПО-108, удалось снизить путем «интеллектуализации» – введения модулей термоэлектронной защиты [9, 23] либо путем применения электродкотла с индукционным нагревом (рис. 3).

Данный вид отопительных котлов имеет ряд преимуществ перед традиционными «ТЭНовыми нагревателями» [9, 24]:

- во-первых, полное отсутствие каких-либо нагревательных элементов, а также подвижных и высоконагруженных элементов, подвергающихся износу во время эксплуатации и требующих периодической замены;
- во-вторых, возможность работы от электросети с низким напряжением и с постоянным током, что обычно недопустимо для электродкотлов других типов;
- в-третьих, конструкция котла не содержит разъемных соединений, т.е. вероятность протечки полностью исключена;
- в-четвертых, значительно более быстрый нагрев до рабочей температуры по сравнению с любыми другими видами отопительных электрических котлов, а низкая инерционность позволяет экономить электроэнергию за счет эффективного управления работой котла при помощи автоматики (за счет поддержания температуры на строго заданном уровне, т.е. при ее нарастании электропитание котла отключается и возобновляется лишь при снижении температуры, ниже заданной пользователем);
- в-пятых, защищенность от образования накипи за счет малой разницы температур между на-

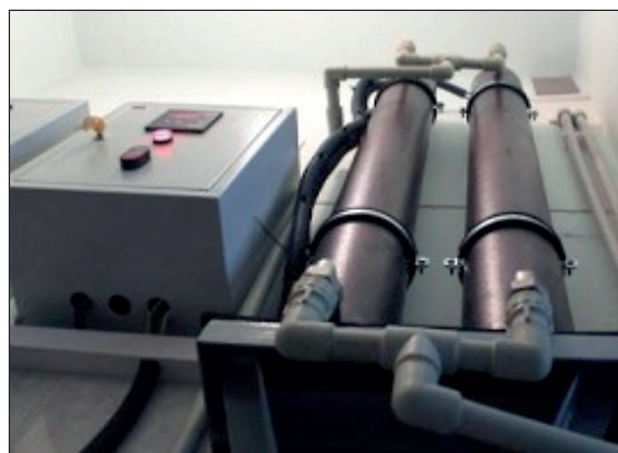


Рис. 3. Внешний вид установки с индукционным нагревом

гревателем и теплоносителем, не превышающей 30°C, а также из-за высокочастотных вибраций, вызванных вихревыми токами, отталкивающих ионы солей от внутренних стенок трубы;

- в-шестых, высокая пожароустойчивость и электробезопасность, поскольку нагревательный элемент (сердечник) электрически не связан с индуктором (первичной обмоткой) напрямую, а разница температур между сердечником и теплоносителем не превышает 30°C;
- в-седьмых, нет необходимости устанавливать индукционный котел в отдельном помещении, т.к. он абсолютно бесшумен, а его монтаж не требует привлечения специалистов высокой квалификации;
- в-восьмых, как и у любого электрического нагревателя, КПД такого котла близко к 100% и не меняется с годами его эксплуатации, в отличие от котлов электродных и с ТЭНами, при среднем сроке службы – 25 лет и выше (зависит от толщины металлических труб, образующих сердечник котла), при этом никаких профилактических работ с этим оборудованием производить не требуется;
- в-девятых, позволяет использовать в отопительной системе практически любой теплоноситель (воду, антифриз, масло и т.д.), причем без какой-либо его предварительной подготовки, замена отработавшего теплоносителя в системе не чаще одного раза в 10 лет, при этом допускается использование для любых закрытых систем отопления, в том числе для «теплого пола» и для плинтусного отопления, т.к. минимальный порог температуры нагрева теплоносителя составляет 35°C.

«Теплые полы» были разработаны почти полвека назад для животноводческих ферм [25], поэтому применение наряду с «водяными батареями» современных полимерных конструкций «водяных теплых полов» обеспечивает их безопасность и высокую надежность [26], а в «солнечной подсистеме» высокие

показатели надежности и безопасности обеспечиваются контроллером и «интеллектом» инвертора [9, 12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время наиболее массовое распространение получили ВЭУ крыльчатого типа с мощностями в диапазоне от 1–3 кВт до 5–6 МВт. При этом производством ВЭУ крыльчатого типа занимаются сотни компаний и фирм Европы, США, Китая, Японии, Индии, Бразилии и т.д. Такие ВЭУ генерируют исключительно постоянный ток, в связи с чем также, как солнечные батареи, доукомплектовываются аккумуляторами и преобразователями (инверторами) постоянного тока в переменный, а в силу своих габаритных размеров требуют специальных опор (рис. 4). При этом «бум ВЭУнизации» дошел до того, что их начинают размещать не только на полях и дорогах (рис. 4 «а»), но и в море (рис. 4 «б») [13].

В России производство ВЭУ находится на стадии становления [13,27] и, в отличие от громоздких крыльчатых ветрогенераторов, есть разработки ВЭУ с вертикальной осью вращения (рис. 5 «а»), в т.ч. малогабаритная с оригинальной «Шуховской» схемой (рис. 5 «б») [28,29].

Так, например, головной опытно-промышленный образец роторного типа с лопастями, продольными оси (ВЭС-15) «Винд-Ротор» КБ НИИ Местпрома (Нижний Новгород) имеет мощность 15 кВт и обладает следующими преимуществами перед крыльчатыми ветрогенераторами [28,29]:

- во-первых, эффективной работой при малых скоростях ветра (от 1 м/сек и выше);
- во-вторых, ветроустойчивостью, т.к. при увеличении скорости ветра устойчивость повышается (эффект волчка);
- в-третьих, работой при любых направлениях скорости ветра;

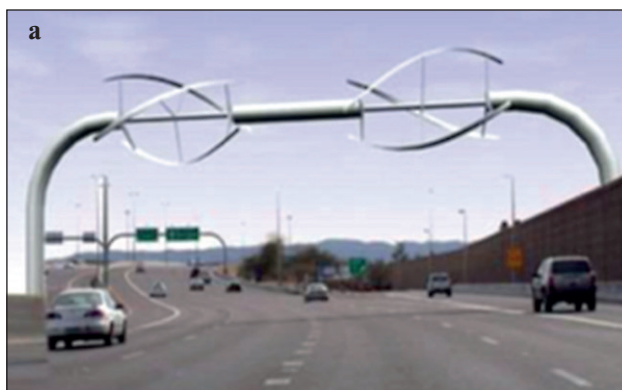


Рис.4. Размещение ВЭУ

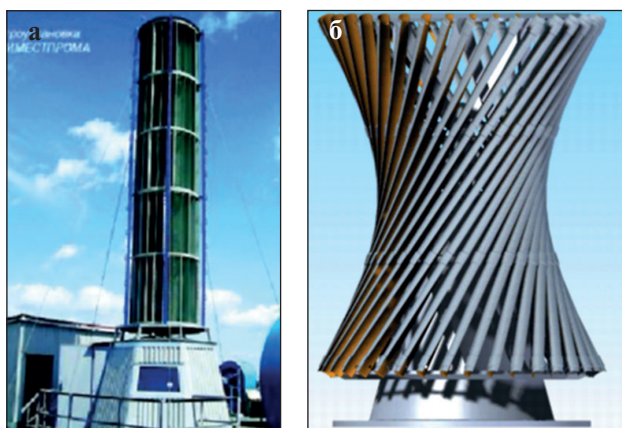


Рис. 5. Ветрогенераторы с вертикальной схемой

- в-четвертых, модульностью конструкции, что позволяет набирать необходимую мощность за счет количества модулей;
- в-пятых, возможностью работы в стационарном и передвижном вариантах.

Технико-экономические данные перечисленных ветрогенераторов (табл. 1) свидетельствуют, во-первых, о значительных параметрических преимуществах малогабаритной «Шуховской» ветровой электрогенерирующей турбины, а во-вторых, о ее неконкурируемой цене в сравнении с крыльчатками и вертикальными роторными установками — почти на порядок дешевле [28, 29].

Малогабаритная «Шуховская» ветровая электрогенерирующая турбина (ВЭТ) мощностью в 1 кВт (рис. 5 «б») для бытового применения (проектный ряд 3,5 и 7 кВт) имеет следующие характеристики [29]:

Таблица 1

Сравнительные данные ветрогенераторов

Параметр	Ветрогенератор крыльчатого типа	Ветрогенератор с вертикальной осью	Ветрогенератор «Шухова»
Мощность, кВт	1,0	1,0	1,0
Габариты, мм	диаметр — 2800 (круг, описываемый лопастями)	диаметр — 454, высота лопастей — 4000	диаметр — 520, высота — 850
Масса, кг (ветродвигатель + генератор)	70	98	43
Сила ветра при срабатывании, м/сек	2,0	3,0	1,0
Частота вращения, об/мин	300...400	180...300	600...900
Комплектация	ветровая турбина, генератор, аккумулятор, инвертор, кабельная сборка, мачта с растяжками	ветровой ротор, генератор, выпрямитель, контроллер, кабельная сборка, мачта с растяжками	ветровая турбина, генератор, трансформатор
Стоимость, евро	1300 (производитель Китай)	3350 (производитель Украина)	250 (производитель Россия)

а) наибольший диаметр ротора — 550 мм, высота — 850 мм;

б) масса агрегата — 43 кг, масса ротора — 10,4 кг;

в) линия контакта активного слоя потока воздуха, омывающего гиперболоид, в 1,6 раза длиннее аналогичной линии вращающегося цилиндра ветрогенератора роторного типа с прямыми лопастями, в связи с чем КПД ветроустановки будет выше пропорционально этой же величине;

г) суммарный момент инерции конструкции определяется как сумма произведений масс материальных точек на величину квадрата длины радиуса, то есть

$$I = \sum m_n \cdot R_n^2,$$

откуда следует, что момент инерции покоя конструкции, как минимум, вдвое меньше момента инерции вращающегося цилиндра ветроустановки с прямыми лопастями, и, следовательно, необходимая сила ветра в момент начала движения в два раза меньше, а также создаются условия «самовсасывания» и «самоподдержки», как и в геликоидных турбинах;

д) конструктивное устройство рабочего органа в сочетании с легкостью, прочностью и сбалансированностью позволяет узлы установки (редуктор, электрогенератор и др.) разместить внутри встроеного объема, что уменьшает габариты и массу всей установки в целом.

Таким образом, устанавливая ВЭТ (рис. 5 «б») на коньке крыши (рис. 2) индивидуального жилого дома (рядом с солнечными панелями), получим «дублированную систему» его электроснабжения.

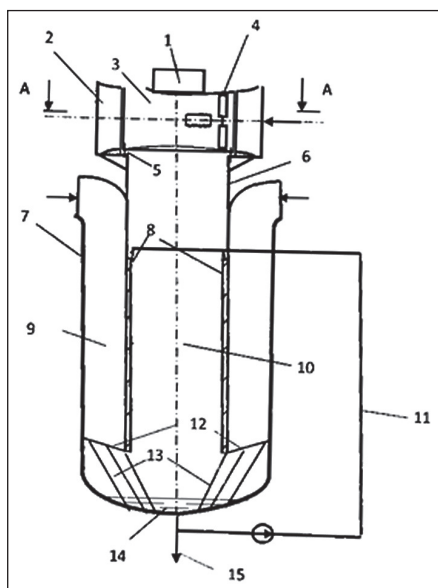


Рис. 6. Вихревая водоветроэнергетическая установка: 1 – воздушный флюгер; 2 – неподвижное кольцевое воздушное сопло; 3 – труба Вентури; 4 – ветроэнергетическая установка с ветроколесом и электрогенератором; 5 – подшипник; 6 – внутренний вертикальный цилиндр; 7 – внешний вертикальный цилиндр; 8 – гидрофобная капиллярно-пористая поверхность; 9 – «сухой» канал; 10 – «влажный» канал; 11 – трубопровод оросительной воды с насосом; 12 – каплеулавливающая сетка; 13 – пластины стока сконденсированной влаги; 14 – водяная емкость; 15 – трубопровод отвода пресной воды

Получению воды из атмосферного воздуха посвящены многие патенты РФ [16–22]. Однако с точки зрения надежности инженерных систем зданий в части подсистемы водоснабжения наиболее эффективным является использование малогабаритной установки с трубой Вентури (рис. 6), т.к. является устройством получения воды из атмосферного воздуха и выработки электроэнергии. Установка работает следующим образом. Атмосферный воздух поступает во внешний вертикальный цилиндр 7 и по «сухому» каналу 9 движется вниз, охлаждаясь за счет контакта с холодной стенкой внутреннего вертикального цилиндра 6 «влажного» канала 10. За счет испарения воды из гидрофобной капиллярно-пористой поверхности 8, покрывающей внутреннюю сторону внутреннего цилиндра 6, температура в нижней части его холодной стенки понижается до температуры, близкой к температуре точки росы. При этом происходит конденсация паров влаги, содержащихся в атмосферном воздухе, капли конденсата этих паров собираются на каплеулавливающей сетке 12, и по пластинам стока влаги 13 поток конденсата поступает в водяную емкость 14. Меньшую часть этого конденсата подают насосом по трубопроводу 11 в верхнюю часть гидрофобной поверхности 8 для ее смачивания водой, а большая часть конденсата из водяной емкости 14 подает к потребителю по второму трубопроводу отвода сконденсированной пресной воды 15. Обтекающий пластины стока влаги 13 охлажденный воздух поворачивается и движется вверх по «влажному» каналу 10. За счет испарения воды в воздух из влажной гидрофобной капиллярно-пористой поверхности 8, покрывающей внутреннюю сторону внутреннего вертикального цилиндра 6, относительная влажность воздуха приближается к 100 %, в связи с чем при движении увлажненного

воздуха по «влажному» каналу 10 повышается его масса и снижается плотность. Поэтому давление влажного воздуха на выходе из «влажного» канала 10 становится ниже давления атмосферного воздуха, что повышает разрежение в узком сечении трубы Вентури 3. Повышающаяся при этом разность плотностей атмосферного воздуха на входе в кольцевое воздушное сопло 2 и в узком сечении трубы Вентури 3 обеспечивает повышение скорости воздушного потока в «сухом» 9 и влажном 10 каналах, а также приводит к дополнительному ускорению скорости воздуха в трубе Вентури 3 и к увеличению выработки электроэнергии электрогенератором ветроэнергетической установки 4 [22].

Таким образом, применение конструкции ВЭТ, которая, помимо пресной воды из воздуха, позволяет с помощью ветроэнергетической установки с горизонтальным ветроколесом и электрогенератором получать еще и электроэнергию, создает условия получения **«тройной системы электроснабжения» индивидуального жилого дома**, как это принято на Атомных электростанциях [30], т.е. **с вероятностью отказа не выше 10^{-7}** . А это значит, что **на протяжении 100 лет (8760 часов • 60 минут • 100лет = 5,256 • 10^7 минут) допустимое пропадание электроснабжения составит 5,3 минуты!**

Уместно сравнить надежность существующей системы централизованного электроснабжения жилого сектора городов и населенных пунктов, которая прописана законодательно в ст. 38 Ф3-35 «Об электроэнергетике» [31]: *«1. Субъекты электроэнергетики, обеспечивающие поставки электрической энергии потребителям электрической энергии, в том числе энергосбытовые организации, гарантирующие поставщики и территориальные сетевые организации (в пределах своей ответственности), отвечают перед потребителями электрической энергии за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с требованиями технических регламентов и иными обязательными требованиями...»*

2. Основой системы надежного обеспечения потребителей электрической энергией являются надежная схема энергоснабжения и выполнение всех требований правил технической эксплуатации электростанций и сетей, а также наличие на розничных рынках спе-

циализированных организаций — гарантирующих поставщиков».

Однако **Технического регламента по электроэнергетике не существует** — есть только **Приказ** Министерства энергетики РФ от 25 октября 2017 г. № 1013 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики», **в котором нет конкретной величины надежности и безопасности для системы** [32].

И остается единственный документ — ГОСТ 32144-2013 [33], из которого следует (п. 4.3 «Случайные события» и подпункт 4.3.1 «Прерывания напряжения»), что «Случайные прерывания напряжения подразделяют на длительные (длительность более 3 мин) и кратковременные (длительность не более 3 мин). Ежегодная частота длительных прерываний напряжения (длительностью более 3 мин) в значительной степени зависит от особенностей системы электроснабжения (в первую очередь, применения кабельных или воздушных линий) и климатических условий».

Следовательно, с учетом «климатических условий» и почти 25% потерь в существующих «кабельных или воздушных линиях», допускается минимальная вероятность пропадания электроэнергии — $5,7 \cdot 10^{-6}$ (3 минуты/8760 часов), а максимальная — $1,0 \cdot 10^{-3}$ (9 часов/8760 часов), если учесть следующее «разрешение на некачественную поставку электроэнергии» [33]: «А.2 Перенапряжения. В среднем за год в точке присоединения возможны около 30 перенапряжений. ...Уровень таких перенапряжений при значительной не симметрии фазных нагрузок может достигать значений линейного напряжения, а длительность — нескольких часов» (т.е. менее 10).

Таким образом, надежность, безопасность и качество электроснабжения предлагаемой тиражируемой автономной инженерной системы индивидуального жилого дома (АИС ИЖД), как минимум, в 60 раз выше централизованного энергоснабжения жилого сектора, а с учетом перенапряжений, которые в троированной системе исключены нанотехнологиями их подавления [6–8] — в АИС ИЖД в 10 800 раз выше.

Дублирование подсистемы водоснабжения АИС ИЖД можно осуществить 4-мя отечественными метровыми «гидропанелями» (рис. 7 «а»), каждая из которых может генерировать до 5 л воды в сутки. Гидропанель (гелиотермальный адсорбционный генератор атмосферной воды) работает на принципе физической адсорбции по суточному циклу: ночью при температуре 20°C и меньше поток воздуха проходит через нанопористый адсорбент (рис. 7 «б»), который селективно сорбирует влагу из воздуха, а днем от солнечной энергии разогревается селективный экран, передающий теплоту на адсорбент, из него выделяется влага, которая конденсируется на холодном экране и стекает с него в водосборник [34].

«Троирование» инженерной системы индивидуального жилого дома в части водоснабжения целесообразно организовать с помощью установки «АКВАМАТИК» (рис. 8), в которой воздух, проходя через электростатический фильтр (1), попадает в конденсатор (2), где он охлаждается до «точки росы», и пар, присутствующий в нем, превращается в воду. Вода стекает в лоток сбора воды (3), и, пройдя через цеолитовый фильтр, попадает в нижний накопительный бак. Здесь вода проходит первую стерилизацию ультрафиолетом. Затем насос высокого давления (4) прокачивает воду через систему фильтров (5), и она попадает в верхний накопительный бак объемом 12,5 л. (6), а из него — в бак (7) холодной воды (температура 4–10°C,

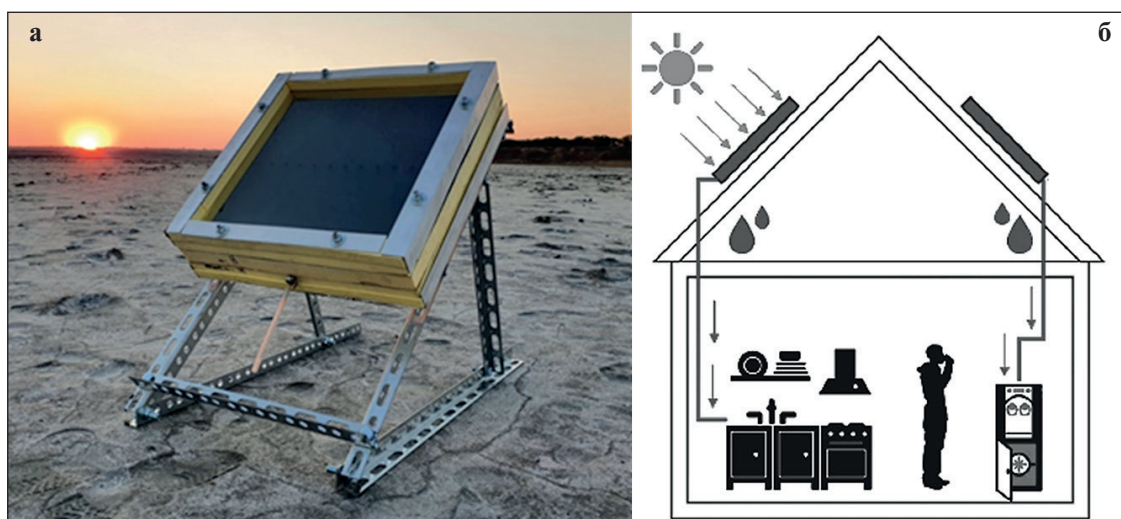


Рис. 7. Гидропанели ООО «ИТР ЮНИСОРБ»

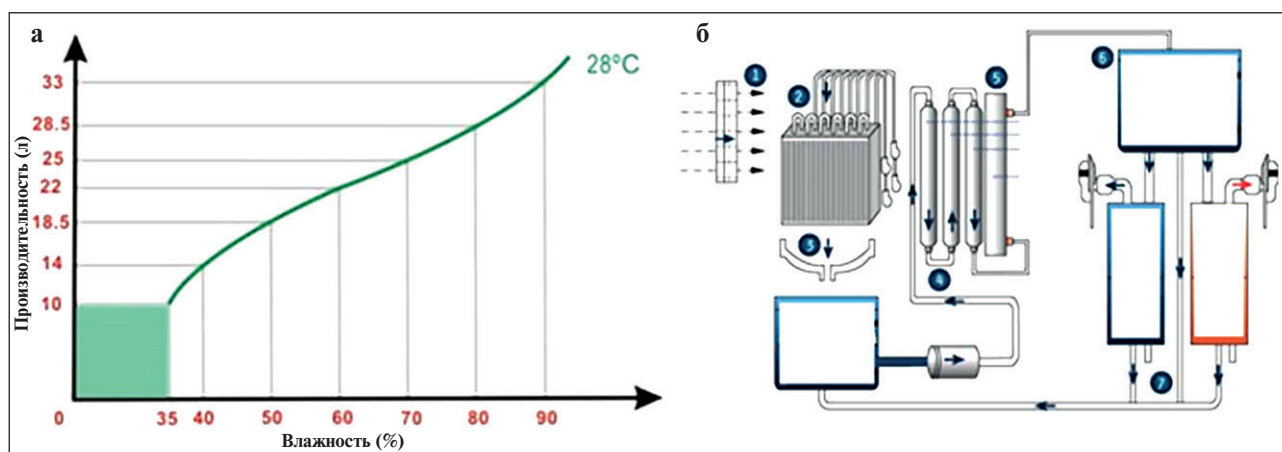


Рис. 8. Структурная схема и диаграмма производительности «АКВАМАТИК»: 1 – электростатический фильтр; 2 – конденсатор; 3 – нижний бак с цеолитовым фильтром; 4 – насос; 5 – система фильтров; 6 – верхний резервуар для воды (12,5 л); 7 – баки для холодной воды (2 л, 4–10°C) и горячей воды (1,8 л, 90–95°C)

объем 2 л.) и горячей воды (температура 90–95°C, объемом 1,8 л.). Производительность установки (рис.8) зависит от влажности окружающего воздуха [35].

Расчеты по аналогии с энергоснабжением показали, что надежность, безопасность и качество предлагаемой тиражируемой АИС ИЖД, в части водоснабжения, в 10 000 раз выше централизованного водоснабжения и теплоснабжения жилого сектора и в 1000 раз выше «скважинных систем» с аппаратами, комбинированными газовыми водонагревательными (АКГВ).

Следовательно, становится очевидным место «природоподобных технологий», альтернативной энергетики, в частности, в мировых энергосистемах различных государств, в том числе в нашей стране. И останется провести сравнительный анализ, но не социально-экономической эффективности предлагаемого подхода, как это принято в современных экономических теориях, а с учетом самоорганизации получаемых «благ» и производимого «вреда» (публичных, коллективных и частных), т.е. методом «ретропрогноза» социально-экономических потерь в обществе, с точки зрения безопасности жизнедеятельности (пожарной, экологической и т.д.) [36, 37].

Это будет сделано в отдельной статье, и уместно отметить, что из всех «неестественно-математических моделей экономики», за которые последние 45 лет «раздавали» Нобелевские премии в области экономики, будет использован метод межотраслевого баланса русского ученого, нобелевского лауреата, иностранного члена Академии наук СССР Леонтьева В.В. в виде адаптированной для этих целей модели Леонтьева-Форда [39], совместно с моделями ретропрогноза для ноосферы [38, 39].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ направлений и темпов развития возобновляемой энергетики в мире показал, что указанные установки являются нестабильными, низко концентрированными и периодическими источниками, в связи с чем их бессистемное применение является серьезной ошибкой ученых, специалистов и политиков. На основе анализа инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов, а также пожарно-энергетического и экологического вреда, возникающего в результате их функционирования, предложены нанотехнологии и российские патенты, реализующие «природоподобные технологии», которые позволяют решить проблемы автономного электро-, водо-, теплоснабжения индивидуальных жилых домов. Показано, что интеграция «Шуховской» и вихревой ветроустановок, отечественных гидропанелей и солнечных батарей позволяют создать тиражируемую автономную инженерную систему для индивидуальных жилых домов (АИС ИЖД).

За счет дублирования и троирования АИС ИЖД может обеспечить электроэнергией, водой и теплом индивидуальные жилые дома с параметрами качества, надежности и безопасности, которые на несколько порядков превышают существующие централизованные системы ресурсоснабжения городов и населенных пунктов.

Предлагаемый подход с помощью модели Леонтьева-Форда и метода ретропрогноза позволит в будущем точно определить место так называемой возобновляемой энергетики в структуре системы ресурсоснабжения городов и населенных пунктов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СП 253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий». М.: Стандартиформ, 2017. 69 с.
2. Периков А.В. Системный анализ и нанотехнологии безопасности в инженерных системах жилых высотных зданий // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10, № 2. С. 114–130. DOI: doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-114-130.
3. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Денисов А.Н., Никулин М.А., Олейников С.Н. Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Ч. II // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 3. С. 171–180. DOI: doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-3-171-180.
4. СП 8.13130 «Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности» / Утв. Приказом МЧС России от 30.03.2020 № 225.
5. СП 10.13130 «Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования» / Утв. Приказом МЧС России от 27.07.2020 № 559.
6. Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.Н. Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Ч. I // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2021. Т. 13. № 2. С. 95–107. DOI: doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107.
7. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Способ определения пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара с помощью электросчетчика-извещателя // Патент на изобретение RU 2622558 С, 16.06.2017. Заявка № 2012138274 от 07.09.2012.
8. Белозеров В.В. «Интеллектуальная» система вентиляции и кондиционирования воздуха в квартирах многоквартирных зданий и в индивидуальных жилых домах с нанотехнологиями защиты от пожаров и взрывов // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Т. 11, № 6. С. 650–666. DOI: doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-650-666.
9. Белозеров В.В., Долаков Т.Б., Белозеров Вл.В. О безопасности и перспективах электрообогрева в индивидуальных жилых домах // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 11. С. 7–13.
10. Синергетика безопасности жизнедеятельности в жилом секторе: монография / В.В. Белозеров, Т.Б. Долаков, С.Н. Олейников, А.В. Периков. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. 186 с. DOI: dx.doi.org/10.17513/np.283.
11. Белозеров В.В. О когнитивной модели управления безопасностью объектов с массовым пребыванием людей (по результатам экспертизы пожара рынка «Тургеневский») // Вопросы безопасности. 2018. № 5. С. 35–62. DOI: dx.doi.org/10.25136/2409-7543.2018.5.27485.
12. Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика. Изд. 3-е доп. — СПб.: Изд. Политехн. Ун-та, 2016. 424 с.
13. Безруких П.П., Безруких П.П. (мл.), Грибков С.В. Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / Под общей редакцией П.П. Безруких. М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. 304 с.
14. Ветряной электрогенератор их эффективность, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. URL: <https://voltobzor.ru/poleznye-statii/vetryanoi-elektrogenerator-vetryaki-ix-effektivnost-preimushhestva-i-nedostatki> (дата обращения 21.12.2021)
15. Распоряжение Правительства РФ от 30 апреля 2021 г. № 1152-р «О газификации субъектов РФ» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400640027/> (дата обращения 21.12.2021)
16. Серебряков Р.А., Доржнев С.С., Базарова Е.Г. Вихревая установка конденсации влаги из атмосферного воздуха / Патент РФ 2683552 от 29.06.2018, Оpubл. 28.03.2019, Бюл. № 10.
17. Доржнев С.С., Базарова Е.Г., Измайлов А.Ю., Пименов С.В. Способ и установка противопожарного водоснабжения для аридных регионов // Патент РФ 2686195 от 09.08.2018, Оpubл. 24.04.2019, Бюл. № 12.
18. Бирюк В.В., Шелудько Л.П., Горшкалев А.А., Шиманов А.А., Белоусов А.В., Галлямов Р.Э. Устройство для получения воды из атмосферного воздуха и выработки электроэнергии // Патент РФ 2620830 от 09.03.2016, Оpubл. 30.05.2017, Бюл. № 16.
19. Антуфьев И.А. Устройство для получения воды в пустыне // Патент РФ 2526628 от 21.09.2012, Оpubл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
20. Романовский В.Ф., Романовский А.В. Способ извлечения воды из воздуха и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2081256, от 12.04.1996, Оpubл. 10.06.1997.
21. Алексеев В.В., Рустамов Н.А., Чекарев К.В. Установка для получения пресной воды из атмосферного воздуха // Патент РФ № 2131000, от 25.02.1998, Оpubл. 27.05.1999.
22. Аристов Ю.И., Окунев А.Г., Пармон В.Н. Способ получения воды из воздуха // Патент РФ № 2272877, от 23.07.2004, Оpubл. 27.03.2006.
23. Белозеров В.В., Рейзенкинд Я.А., Рудковская Л.М., Хаишбашева С.В., Фридман И.М., Белозеров Вл.В. Методика оценки пожарной опасности и надежности отопительного электроприбора (ЭПО). Ростов н/Д: «ЭВАН». 2004. 43 с.
24. Индукционный котел — лучший источник электротепла для отопительных систем [Электронный ресурс]. URL: <https://zen.yandex.ru/media/rmnt/indukcionnyi-kotel-luchshii-istochnik-elektrotepla-dlia-otopitelnyh-sistem-5d2c7285fe289100adeaae7d> (дата обращения 21.12.2021).
25. Белозеров В.В. Рекомендации по устройству электрообогреваемых полов и панелей / А.Н. Михальчук, В.Т. Фомичев, О.Н. Горячев и др. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1986. 21 с.
26. Николаев С.В. Водяной теплый пол со стальным характером // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2015. № 2. С. 68–71.

27. Смирнов А.Н. Ветроэлектростанции. Реалии и перспективы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.niimestprom.ru/?id=1232> (дата обращения 25.12.2021).
28. Смирнов А.Н. Доклад по созданию ветроэнергетических электростанций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.niimestprom.ru/?id=1231> (дата обращения 25.12.2021).
29. Закон Нижегородской области от 26.04.2007 «Об утверждении соглашения между Правительством и ОАО «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт местной промышленности “НИИМЕСТПРОМ” № 413-П/1» // Лоббист. 2007. № 6. С. 36–39.
30. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=97305> (дата обращения 25.12.2021).
31. Федеральный закон № 35 от 26 марта 2003 года «Об электроэнергетике» (с изменениями на 11.06.2021) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения 25.12.2021).
32. Приказ Министерства энергетики РФ от 25 октября 2017 г. № 1013 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.03.2018 N 50503, в ред. от 13.07.2020). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71807490/> (дата обращения 25.12.2021).
33. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (Дата введения 2014-07-01). <https://files.stroyinf.ru/Index/54/54884.htm> (дата обращения 25.12.2021).
34. Меньшиков Е., Стриженов Е., Чугаев С., Школин А. Автономные системы генерации питьевой воды [Электронный ресурс]. URL: <https://s3.dtl.ru/unti-prod-people/file/presentation/project/87if11tp96.pdf> (дата обращения 25.12.2021).
35. Атмосферный генератор воды AQUAMATIC. [Электронный ресурс]. URL: <https://dmsht.ru/voda-iz-vozduha-atmosfernyy-generator/> (дата обращения 25.12.2021).
36. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Ретропрогноз пожаров и последствий от них, как метод оценки эффективности инноваций в области пожарной безопасности // Вопросы безопасности. 2017. № 5. С. 55–70. DOI: [dx.doi.org/10.25136/2409-7543.2017.5.20698](https://doi.org/10.25136/2409-7543.2017.5.20698).
37. Белозеров В.В. Синергетика безопасной жизнедеятельности — Ростов н/Д: ЮФУ, 2015. 420 с.
38. Леонтьев В., Форд Д. Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. 1972. Т. 8 (3). С. 370–399.
39. Белозеров В.В., Гаврилей В.М., Топольский Н.Г. Синергетические системы ноосферной безопасности. М.: АГПС МЧС РФ, 2020. 390 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белозеров Валерий Владимирович – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, safeting@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6999-7804>

Ворошилов Игорь Валерьевич – канд. физ.-мат. наук, генеральный директор «Краснодарский компрессорный завод», Краснодар, Россия, gendir@kkzav.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6546-1700>

Олейников Сергей Николаевич – канд. техн. наук, зам. начальника факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия, osn-fire@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7449-2464>

Белозеров Владимир Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного контроля», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, isagraf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4758-1036>

ВКЛАД АВТОРОВ

Белозеров В.В. – общее научное руководство; методология исследования и «интеллектуализация» ЭПО-108; концепция моделирования «природоподобных технологий»; методика синтеза АИС ИЖД; выводы.

Ворошилов И.В. – разработка моделей и средств энергосбережения, контроля и подавления пожарно-энергетического вреда; участие в синтезе АИС ИЖД.

Олейников С.Н. – разработка способов и моделей «пожарно-энергетического вреда» для жилого сектора и патентов на них; аналитический обзор и статистический анализ надежности и пожарной безопасности в жилых зданиях; участие в синтезе АИС ИЖД.

Белозеров Вл.В. – участие в исследованиях и «интеллектуализации» ЭПО-108; написание программ статистической обработки результатов исследований; разработка программно-технических средств; участие в синтезе АИС ИЖД.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.01.2022; одобрена после рецензирования 28.01.2022; принята к публикации 02.02.2022.

Sustainable municipal solid waste incineration fly ash (MSWIFA) alkali-activated materials in construction: Fabrication and performance

Peng Dong¹, Jingyi Liu¹, Huiru Wang¹, Hongyan Yuan¹ , Quan Wang^{1,2*} 

¹ Southern University of Science and Technology, Shenzhen, Guangdong, PR China

² Shantou University, Shantou, Guangdong, PR China

* Corresponding author: e-mail: wangquan@stu.edu.cn

ABSTRACT: Introduction. Recent years have seen a pressing need to dispose of municipal solid waste due to rapid urbanization. The municipal solid waste incineration fly ash (MSWIFA) produced from solid waste incineration power plant exhibits pozzolanic properties and poses concern of toxicity leaching when used directly as building materials. This paper presents an alkali-activation method to produce sustainable alkali-activated MSWIFA materials (AAFM) with various MSWIFA dosages and investigate the corresponding fabrication and performance. **Materials and Methods.** Compositing alkali activators activate the MSWIFA with constant alkalinity of 5% and the molar ratio of Si/Na = 0.86. The resulting geopolymers' bulk densities, mineral composites, morphology, and compression strength are thoroughly examined. **Results and discussions.** Results show that the use of MSWIFA may lead to more loose structures because the bubbles are generated from metallic aluminum and alkali activators. Additionally, the production of multiple crystals also accounts for increasing porosity. The generated multi-crystals such as Sylvite, Halite, Hydrocalumite, Calcium Hydroxide, and Ettringite are further detected from the morphology and mineral analysis. Furthermore, compression tests and toxicity characteristic leaching procedures (TCLP) are conducted to investigate the mechanical performance and heavy metals solidification performance of AAFMs, with an optimal compression strength of 19.99MPa at 28 days for AAFM-10 while toxicity leaching is subject to regularity limits. **Conclusions.** This study shows that great potential of using the alkali-activation method to recycle hazardous municipal solid fly ash into construction materials with both ecological safety and high performance.

KEYWORDS: Municipal solid waste fly ash; Alkali-activation; Mineral analysis; Morphography; Compression strength; Toxicity leaching.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors would like to acknowledge the financial support from the Stable Support Plan Program of Shenzhen Natural Science Fund Grant No. 20200925155345003.

FOR CITATION: Peng Dong, Jingyi Liu, Huiru Wang, Hongyan Yuan, Quan Wang. Sustainable municipal solid waste incineration fly ash (MSWIFA) alkali-activated materials in construction: Fabrication and performance. *Nanotechnologies in Construction*. 2022;14(1): 43–52. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-43-52>.

1. INTRODUCTION

Municipal solid waste has garnered widespread attention, posing substantial environmental and economic challenges [1]. Low disposal efficiency and high ecological and economic costs impose a heavy burden on waste management. Specifically, waste landfill exacerbates land consumption and causes secondary land pollution [2, 3]. Meanwhile, biodegradation is considered as a limited method since microbes are only active to partial wastes in the short term and introduce more environmental risks in an extended period. Compared with the above disposal

methods, incineration is considered as a great alternative due to its effective mass/volume reduction of waste by 70/90%, respectively, and its more straightforward treatment process, low cost and even the potential of power-generation [4]. Besides, the incineration waste residue shows excellent potential as a source of construction materials that may help mitigate carbon emissions caused by cement production and further elevate the resource utilization and revolution of green materials and construction.

The municipal solid waste incineration residuals are generally composed of municipal solid waste incineration fly ash (MSWIFA) and municipal solid waste incineration

bottom ash (MSWIBA) [5]. Containing similarly fundamental chemicals such as Al_2O_3 , CaO , and SiO_2 with OPC, MSWIFA is expected as raw materials to agglomerate and burn clinker or play a role as supplementary cementitious materials (SCMs) to produce other construction materials such as Strain hardening cementitious composites (SHCC) [6]. The MSWIFA also feature high heavy metal leaching and high concentration chlorides, which may have risks in contaminating groundwater and soil if leached, although only approximately 20% of total residual volume. Consequently, wise strategies are necessary to solidify the heavy metals before direct using MSWIFA as the ideal SCM. Various chelating agents are well developed for heavy metal immobilisation, while the MSWIFA after processing may still end up in landfill sites rather than used as construction materials. It has been reported that cement solidification/immobilisation can effectively reduce the potential of heavy metal leaching [7]. However, the extra consumption of cement may run counter to reducing carbon emissions [8]. Conversely, from current research, heavy metal solidification/immobilisation of MSWIFA by the alkali-activation method may present a possible solution to considering service performance and environmental effects.

Alkali activation (Geopolymerization) is defined as the reaction of a solid aluminosilicate precursor under alkaline conditions or induced by the alkali activator to produce a hardened binder based on a combination of hydrous alkali-aluminosilicate and alkali-alkali earth-aluminosilicate phases [9]. The general mechanism of geopolymerization involves the dissolution, migration, gelation, reorganization, polymerization, and hardening of aluminosilicate precursors [10]. The final products mainly contain various disordered, high-molecular, and well-connected sodium-aluminate-silicate-hydrate (N-A-S-H) gels networks in which basic metal cations (e.g., K^+ , Na^+ and Pb^+) are incorporated to balance the charge in these structures. The most common precursors used to produce alkali-activated materials (geopolymers) are wastes or industrial by-products, which may be derived from various resources and industrial activities such as Coal Fly Ash (CFA), Ground-granulated Blast Furnace Slag (GGBS), Red Mud (RM) [11, 12] and Municipal Solid Waste Ash (MSWA). The utilisation and transformation of industrial by-products as renewed raw materials significantly control emission footprint and are promoted as an environmentally beneficial option in engineering practice.

While alkali activation of high-pozzolanic solids such as CFA and GGBS has received considerable attention, the fabrication and performance of AAFMs, especially in terms of mechanical performance and environmental safety (heavy metal leaching behaviours), have not been well-studied. Recently, some studies on AAFMs have been conducted in conjunction with using MSWIFA as

an aluminosilicate precursor. The dehydrated cementitious waste (DCW) is employed as a binder substitute to produce a DCW-IFA paste that exhibits the anticipated solidification/immobilization action on heavy metals such as Pb [13]. AAFMs can also be synthesized using a ternary binder composed of MSWIFA, OPC, and Metakaolin (MK). The presence of metakaolin significantly reduced the amount of heavy metals released from the binder matrix [14]. A composite binder comprising 50% wt. MSWIFA, and 50% wt. OPC is intended to fabricate AAFMs with a compression strength of more than 18.8 MPa at 28 days [15]. Moreover, existing metallic aluminum in MSWIFA/MSWIBA has also garnered considerable interest owing to its rapid burning of aluminum waste and formation of a protective oxidized coating [16,17]. Aluminum may result in a porous structure, lowering the mechanical property. Additionally, the microstructure is discovered using a visual approach, which reveals crystals with various forms and porous morphology [18].

This research aims to investigate the alkali-activated fabrication procedures and performance, which help reuse the MSWIFA as sustainable construction materials with high performance. In this study, the geopolymers made by proper activators and gradient MSWIFA dosage are firstly fabricated. Subsequently, the tests of morphology and mineral analysis of pastes are conducted to show the physical and chemical properties of AAFMs. Furthermore, the mechanical property is of primary concern and determined by compression tests to examine the fundamental loading capacity as construction materials. Heavy metal leaching tests are finally conducted to simulate solidification performance in complex natural environments for the sake of environmental safety.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The municipal solid waste incineration fly ash is collected from a waste incineration power station in Weifang, Shandong Province, China. The solid precursors may also contain Coal Fly Ash (CFA), Ground-granulated Blast Furnace Slag (GGBS) and 42.5 MPa Ordinary Poland Cement (OPC) as significant aluminosilicate resources produced from a thermal power plant (Meizhou, China), Wuxin Materials Company (Wuhan, China) and Huaxin Cement Corporation (Wuhan, China), respectively. Fig. 1 presents particle distributions of MSWIFA. From the figure, most MSWIFA particles range from 0.93–103 μm with the average particle size of 9.87 μm , while the mean size of CFA and GGBS particles are 18.3 and 13.7 μm , respectively. The chemical compositions of these raw materials are then determined by an X-ray fluorescence spectrometer (XRF), as shown in Table 1. The alkaline

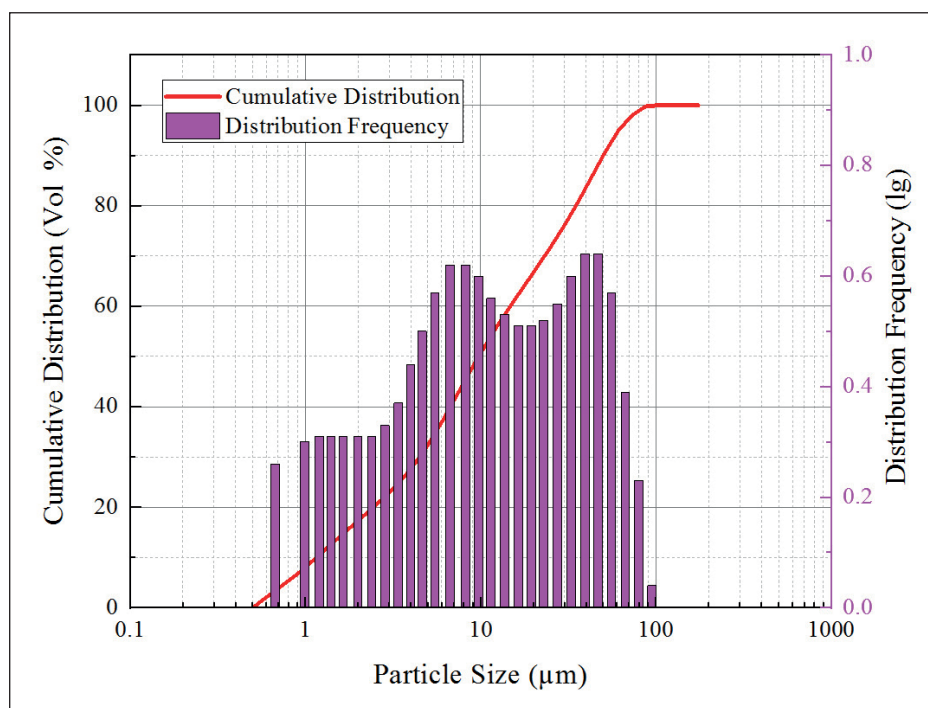


Fig. 1. Particle size distribution of MSWIFA

Table 1

Chemical compositions of MSWIFA (wt. %)

Composition	Weight
CaO	49.34
Cl	19.40
Na ₂ O	9.58
SO ₃	8.30
K ₂ O	7.29
SiO ₂	2.34
MgO	1.06
Fe ₂ O ₃	0.736
Al ₂ O ₃	0.671
ZnO	0.420
P ₂ O ₅	0.263
TiO ₂	0.158
Br	0.101
PbO	0.100
CuO	0.0418
MnO	0.0355
SrO	0.0288
BaO	0.0267

activators used in this research are composited of analytically pure Sodium Hydroxide (NaOH, 99% wt.) and Sodium Metasilicate pellets (Na₂SiO₃•5H₂O, 99% wt.), both produced from Zhiyuan Chemical Company (Tianjin, China). Additionally, deionised water is used to prepare these geopolymers.

2.2. Mixture design

The mix design in this work contains a total of 12 groups of mixtures, as shown in Table 2. The alkali activators are configured from the table by adjusting the relative amounts of Sodium Hydroxide, Sodium Metasilicate, and deionised water. The solutions for all mixtures are set as constant alkalinity of 5% with the same molar ratio of Si/Na = 0.86. In binders, the dosage of GGBS accounts for 50% weight of the binder (MSWIFA + CFA + GGBS) in each group, while CFA replaces the IFA from 0% to 50%. This water/solid ratio also keeps constant as W/S = 0.39.

2.3. Preparation process

The binder powders and corresponding solid alkaline pellets (NaOH + Na₂SiO₃•5H₂O) are firstly dry-mixed for 2 mins to reach a homogeneous state. Subsequently, the deionised water is poured into the homogeneous mixtures and blended in a low speed for the 30 s, high speed for 1min, and finally 30s at a low rate. After mixing, the fresh geopolymers are finally pro-

Table 2

Mixture proportions of AAFMs

	Proportion by weight			
	MSWIFA	CFA	Slag	Cement
AAFM-0	0	0.5	0.5	0
AAFM-10	0.1	0.4	0.5	0
AAFM-20	0.2	0.3	0.5	0
AAFM-30	0.3	0.2	0.5	0
AAFM-40	0.4	0.1	0.5	0
AAFM-50	0.5	0	0.5	0
CS-50	0.5	0	0	0.5

Water/Solid Ratio = 0.39; Si/Na = 0.86 in activators.

duced with proper workability and fluidity. The above geopolymer pastes are then cast in molds with the size of 50×50×50 mm and cured under the lab conditions for 7 and 28 days after demolding.

2.3.1. Tests and Characterization

2.3.1.1. Bulk Density

Bulk density is a sufficient index of structure compactness. A micrometer scale directly weights the mass of geopolymers, while the volume can be measured by the Archimedes drainage method. The bulk density is finally calculated by dividing the mass of the sample by the volume of displaced water.

2.3.1.2. Morphography

The microtopography of geopolymers is obtained by a Zeiss Merlin scanning electron microscope (SEM). After pre-heating at 60°C to evaporate the inner water, the specimens are cut into dimensions under 0.5 cm and coated with Pt by a coating machine to enhance surface charging. The accelerating voltage and current are 5 kV and 5 mA under the SE2 channel pattern. Coupled with SEM, element analysis is also conducted to characterize the elementary composites of specific areas and points in the images by an Apollo X energy dispersive system (EDS).

2.3.1.3. Mineral analysis

X-ray diffraction (XRD) is carried out to reveal the crystalline phases of MSWIFA-based geopolymers via diffractometer (Bruker D8 Powder). The diffraction is operated at 40 kV and 40 mA with a Cu K β of 1.54056 Å. The diffraction range is set from 6.25 deg to 90 deg with an interval of 0.02 deg per step. Powder samples for XRD tests are crushed and sieved under 45 μ m-sized sieves and evenly laid on the slides.

2.3.2. Compression tests

The compression strength of MSWIFA-based geopolymers is determined by an unconfined uniaxial compression test according to ASTM C109 [19]. The dimension of samples is set as 50×50×50 mm. The prepared specimens are then loaded in a multi-function mechanical testing machine (Weeping brand, China) with a rate of 50 N/s. An automation software records the loading force and the displacements until failure. The compression tests are performed at curing age of 7 day and 28 day, respectively.

2.3.3. Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP)

The leaching test is conducted by the horizontal oscillation method to determine the toxicity of samples in accordance with GB 16889–2008 [20]. The solid samples are firstly broken down and crushed into fragments (< 9 mm). After that, the crushed chippings were dissolved and emerged in 5% glacial acetic acid at liquid-solid ratio (L/kg) 20:1. Then all the suspensions are set into conical flasks and shook at a vibration frequency of 110 $\pm$ 10 times/min and an amplitude of 40mm under a horizontal oscillation shaker. The mixtures were firstly shaken for 8 hours under laboratory conditions and then kept steady for another 16 hours. After filtering by a 0.45 μ m filter in a Buchner funnel, the leachate was collected and tested via an Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES, Perkin Elmer). The regular limit of concentrations of leached heavy metals including Zn, Pb, Cu, Ba, Cr, and Cd are 100, 0.25, 40, 25, 4.5, and 0.15 mg $\cdot$ L⁻¹, respectively.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Bulk Density

Fig. 2 shows the bulk density of AAFMs. From the result, the AAFMs' bulk density is inversely related to

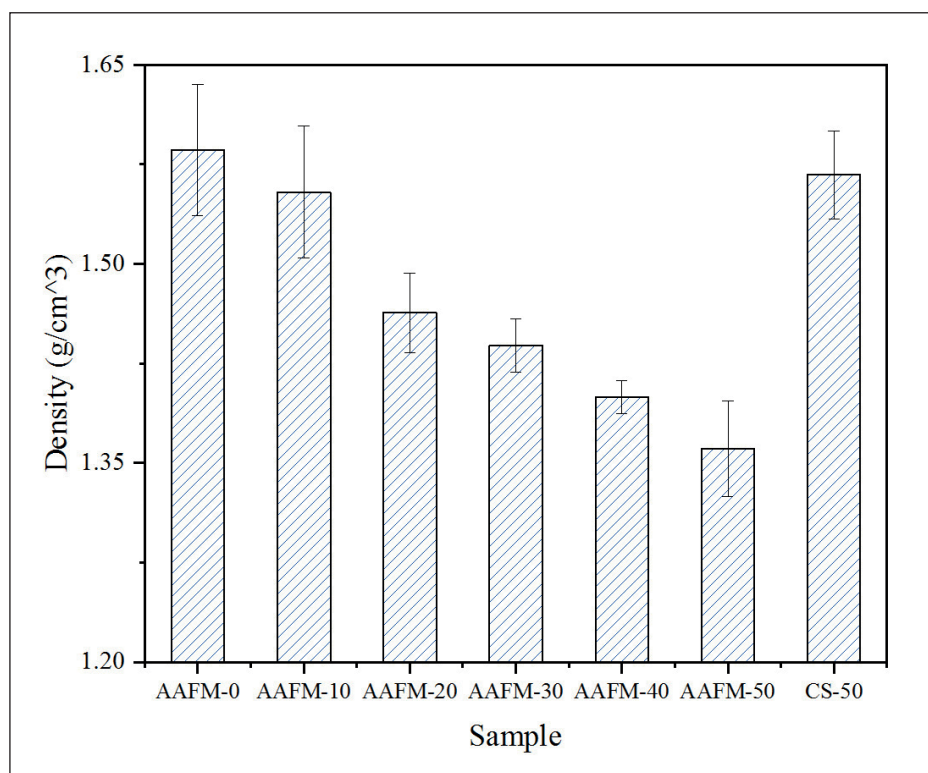


Fig. 2. Bulk density of AAFMs

the MSWIFA dosage in precursors. As indicated, the bulk density of AAFM-10 reaches around 1.55 g/cm^3 , whereas it drops to 1.36 g/cm^3 at sample AAFM-50. The decreased compactness of AAFMs may be attributed to two main reasons. First, the bubbles generated in paste lead to high porosities of AAFMs. The hydrogen releases because of the reaction between the residual metallic aluminum in MSWIFA and alkali [16,21], thus decreasing the bulk density. The other reason is that more loose interior structures are produced due to the generation of multiple crystals. This point can be verified in Sections 3.2 and 3.3.

3.2. Morphography

The morphology of each AAFM sample at 28 days is shown in Fig. 3, which consists of some typical shapes of crystal such as needle-like crystals (Fig. 3(a)), flakes (Fig. 3(b)) and fluffy-like crystals (Fig. 3(c)) [13, 15, 22]. Fig. 3 shows the morphology difference of AAFMs caused by MSWIFA dosage in the same fabrication method. It is easy to identify that Fig. 3 (d) has more unreacted particles while less amorphous C-(N)-A-S-H gel due to more unreactive contents in MSWIFA than replaced CFA, indicating that the alkali-activation reaction is almost inadequate. From the chemical composites of MSWIFA Fig. 4, the insufficient contents of silicate and aluminum may help explain less geopolymerization production, microcracks, and low compressive strength.

3.3. Mineral analysis

The XRD spectrum of original MSWIFA powder and AAFMs are presented in Fig. 4. The main crystal phases of AAFMs are Calcite, Portlandite, Hydrocalumite, Ettringite and Anhydrite. For the control group without MSWIFA (ASTM-0), typical crystal phase hydration products such as Calcium Hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), Hydrocalumite, and Ettringite ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$) are detected (Fig. 4). Additionally, the presence of Calcium carbonate (CaCO_3) may be attributed to the carbonation of calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) during sample preparation. New crystals such as Portlandite and Hydrocalumite are detected because MSWIFA was added in [13], which is also identified in the original MSWIFA in Fig. 4. Contrarily, the peak of Calcite and Hydrocalumite tends to increase. Specifically, it is already reported that the Hydrocalumite existed in the form of a chloride-bearing phase, that is, $\text{C}_1\text{H}_{43}\text{Al}_4\text{Ca}_8\text{Cl}_2\text{O}_{36}$ [23]. The extra chloride was introduced with high contents in MSWIFA, and Hydrocalumite is one of the main crystalline chloride-aluminium-calcium products after geopolymerization [24].

3.4. Compression Strength

Fig. 5 illustrates the compressive strength of specimens at 7th days and 28th days, respectively. As shown in Fig. 5, the dosage of MSWIFA used in raw materials has a negative effect on the compression strength of geopolymers

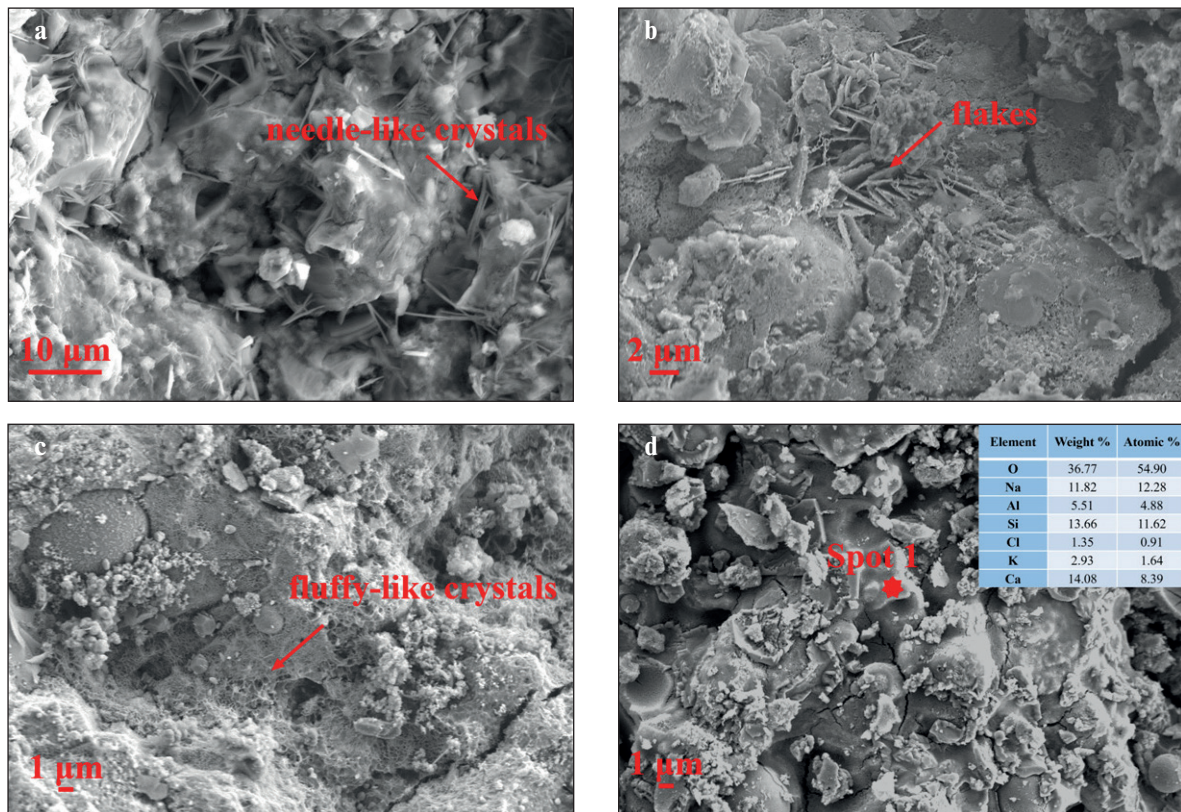


Fig. 3. Morphology of (a) Needle-like crystals (b) Flakes (c) Fluffy-like crystals (d) C(N)-A-S-H gels

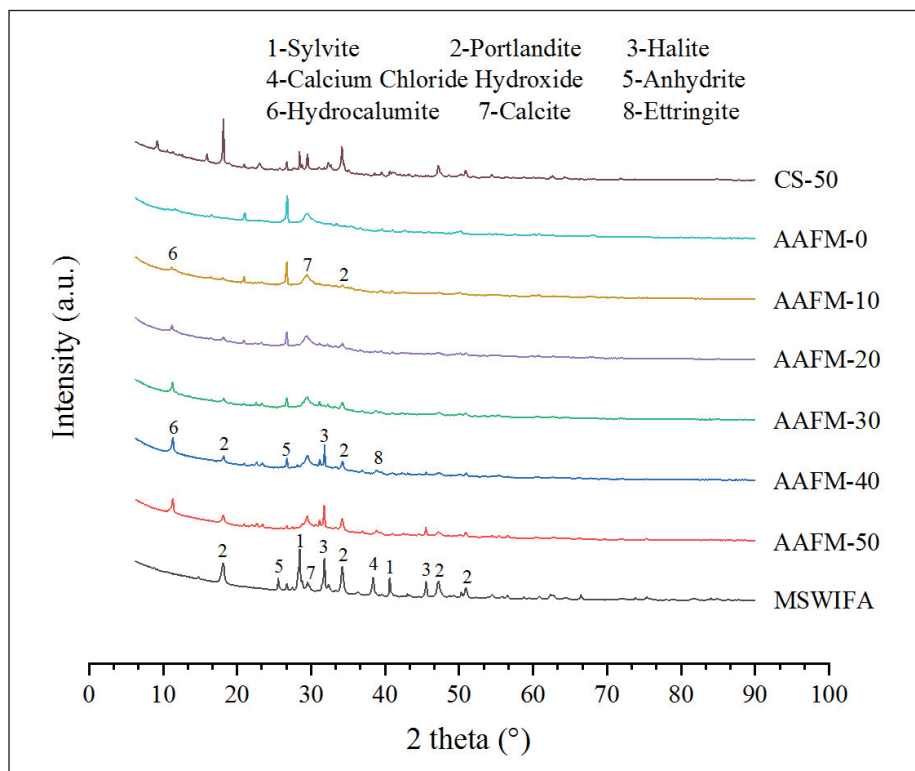


Fig. 4. Mineral analysis of MWIFA and AAFMs

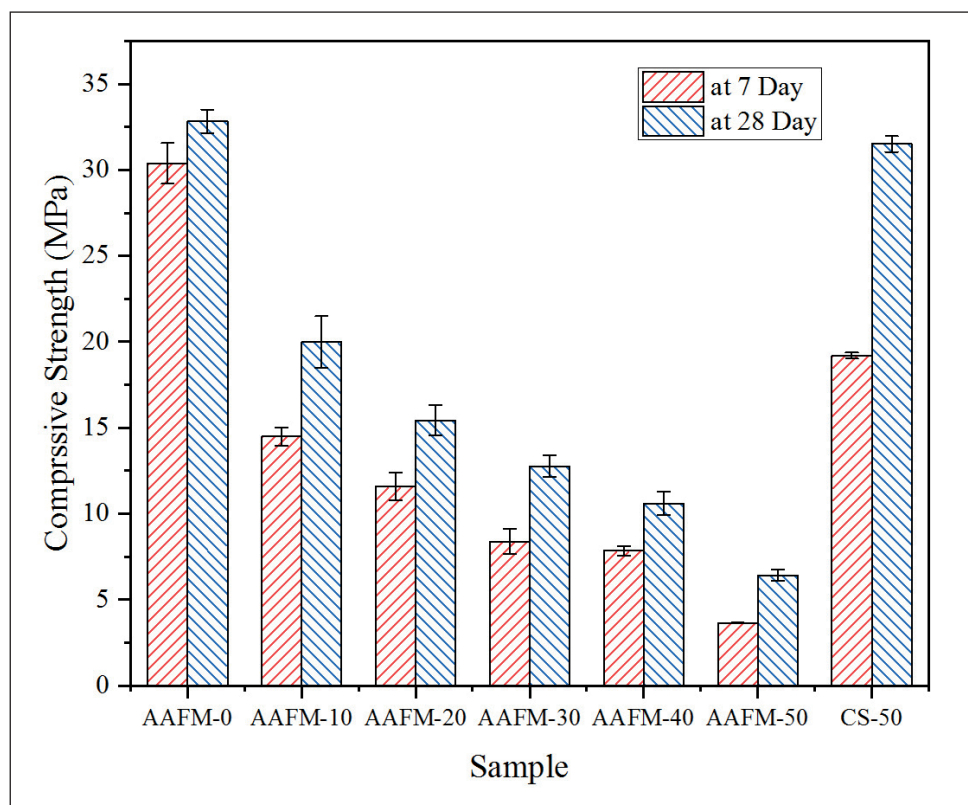


Fig. 5. Compression strength of AAFMs

[6, 25]. The sample (AAFM-0) made without MSWIFA gains the highest compressive strength at 28 days at around 32.8 MPa while decreasing to 6.0 MPa at Sample AAFM-50 with a mass fraction of 50% MSWIFA. There are two primary explanations for the adverse effects, first the quantity of active aluminosilicate in MSWIFA reduces in comparison with the amount of CFA substituted in the precursor, indicating that less N(C)-A-S-H gel is generated; the other cause is that more residual aluminum in high dosage MSWIFA reacts with alkali during geopolymerization, generating hydrogen gas and reducing the compactness of geopolymers, hence lowering compression strength.

3.5. Toxicity Leaching Performance

The toxicity leaching performance of raw MSWIFA and AAFMs synthesised by different MSWIFA dosages is shown in Table 3. The quantity of MSWIFA utilised in AAFMs seems to be growing as the concentration of hazardous heavy metals in AAFMs rises. Furthermore, samples generated using alkali-activated techniques (AAFM-50) had a more significant solidification impact on all heavy metals leaching behaviours than cement-solidified samples (CS-50), indicating that alkali-activation is a more effective way for heavy metals solidification [26, 27]. Alkali-activated technologies improve solidification efficiency and expand the applica-

tion scope of AAFMs while lower emissions and cost as structural materials.

In particular, the concentrations of Zn, Cu, Ba, and Cr in AAFMs and original MSWIFA are lower than the GB 16889-2008 standard limitations [20]. Conversely, Pb content fails to meet the standard criteria for samples with MSWIFA dosages greater than 10% wt. Moreover, the concentration of leached Cd in AAFM-50 exceeds the limit of 0.15 mg/L in standard. When the MSWIFA dose reaches 10% wt. in binders, the toxicity leaching performance of AAFM-10 proves to be a sustainable building material because of excellent environmental safety.

4. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

This paper has reported the fabrication and performance of sustainable municipal solid waste incineration fly ash alkali-activated materials (AAFM) in construction. The following conclusions can be drawn from this research.

- The feasibility of synthesizing AAFMs with composited activators of sodium hydroxide and sodium metasilicate has been experimentally validated in this study. The inner structure of AAFMs containing MSWIFA is proved to be loose, and the bulk density tends to be inversely proportional to MSWIFA dosage. The bulk density of

Table 3

Heavy metals concentrations in the TCLP leachates at 28 days

	TCLP (mg • L ⁻¹)					
	Zn	Pb	Cu	Ba	Cr	Cd
GB16889–2008	100	0.25	40	25	4.5	0.15
AAFM-0	0.068	0.02	0.041	1.82	0.044	0.001
AAFM-10	0.511	0.032	0.048	1.505	0.046	0.007
AAFM-20	1.601	0.364	0.064	0.779	0.053	0.011
AAFM-30	2.54	0.512	0.072	0.787	0.061	0.014
AAFM-40	5.159	0.756	0.097	0.851	0.062	0.036
AAFM-50	7.996	0.992	0.202	0.869	0.064	0.138
CS-50	9.645	1.298	0.594	1.007	0.091	0.428
MSWIFA	12.87	1.588	1.17	1.113	0.113	0.798

AAFM-10 is around 1.55 g/cm³ and falls to 1.36 g/cm³ when the MSWIFA dose reaches 50%.

- Multiple polymerization products have been explored in detail. According to mineral analysis and tomography, many crystal phases and amorphous N(C)-A-S-H gels are detected. In hardened AAFMs, KCl, Ettringite, Ca (OH)₂ and CaCO₃ are recognized from an XRD pattern, while needle-like crystals, fluffy-like crystals and flakes are observed using SEM.

- The AAFMs obtained a relatively high mechanical performance. The compression strength of AAFM-10 reaches 19.99 MPa, whereas it decreases to 6.43 MPa at the 28th day in the case of AAFM-50, which allows the possible application as structural materials. In addition, the MSWIFA dosage has detrimental influence on the compression strength of AAFMs.

- AAFM-10 has greater efficiency than cement in solidifying/immobilising heavy metals and increasing environmental safety. The sample AAFM-10 demonstrates toxicity leaching performance within regulatory limits, with a dosage of MSWIFA of 10% wt.

Although the fabrication techniques and performance of AAFMs are thoroughly examined in this research, the workability and durability are not thoroughly examined. Setting time, fluidity, and cost may influence the implementation of MSWIFA-based AAFMs. Moreover, long-term leaching behaviours and treatment on additional harmful compounds should be explored before the engineering use of the MSWIFA. Furthermore, some innovative methods including nano technologies [28–32] could be incorporated to better dispose MSWIFA in a sustainable way.

REFERENCES

1. X. Sun, J. Li, X. Zhao, B. Zhu, G. Zhang, A Review on the Management of Municipal Solid Waste Fly Ash in American, *Procedia Environmental Sciences*. 31 (2016) 535–540. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.079>.
2. S. Ma, C. Zhou, J. Pan, G. Yang, C. Sun, Y. Liu, X. Chen, Z. Zhao, Leachate from municipal solid waste landfills in a global perspective: Characteristics, influential factors and environmental risks, *Journal of Cleaner Production*. 333 (2022) 130234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130234>.
3. L.F. Pearse, J.P.A. Hettiaratchi, D. Da Costa, A new biochemical methane potential assay for landfilled waste using the organic fraction of municipal solid waste, *Bioresource Technology Reports*. 12 (2020) 100579. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100579>.
4. L. Makarichi, W. Jutidamrongphan, K. Techato, The evolution of waste-to-energy incineration: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 91 (2018) 812–821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088>.
5. X. Gao, B. Yuan, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers, Characterization and application of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash and waste granite powder in alkali activated slag, *Journal of Cleaner Production*. 164 (2017) 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.218>.

6. J. Li, Z. Dong, E.-H. Yang, Strain hardening cementitious composites incorporating high volumes of municipal solid waste incineration fly ash, *Construction and Building Materials*. 146 (2017) 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.098>.
7. K. Yan, F. Gao, H. Sun, D. Ge, S. Yang, Effects of municipal solid waste incineration fly ash on the characterization of cement-stabilized macadam, *Construction and Building Materials*. 207 (2019) 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.048>.
8. A. Assi, F. Bilo, A. Zanoletti, J. Ponti, A. Valsesia, R. La Spina, A. Zacco, E. Bontempi, Zero-waste approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash, *Journal of Cleaner Production*. 245 (2020) 118779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118779>.
9. J.L. Provis, Alkali-activated materials, *Cement and Concrete Research*. 114 (2018) 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>.
10. Z. Tang, W. Li, Y. Hu, J.L. Zhou, V.W.Y. Tam, Review on designs and properties of multifunctional alkali-activated materials (AAMs), *Construction and Building Materials*. 200 (2019) 474–489. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.157>.
11. K. Tian, Y. Wang, S. Hong, J. Zhang, D. Hou, B. Dong, F. Xing, Alkali-activated artificial aggregates fabricated by red mud and fly ash: Performance and microstructure, *Construction and Building Materials*. 281 (2021) 122552. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122552>.
12. D. Hou, D. Wu, X. Wang, S. Gao, R. Yu, M. Li, P. Wang, Y. Wang, Sustainable use of red mud in ultra-high performance concrete (UHPC): Design and performance evaluation, *Cement and Concrete Composites*. 115 (2021) 103862. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103862>.
13. P. Tang, W. Chen, D. Xuan, H. Cheng, C.S. Poon, D.C.W. Tsang, Immobilization of hazardous municipal solid waste incineration fly ash by novel alternative binders derived from cementitious waste, *Journal of Hazardous Materials*. 393 (2020) 122386. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122386>.
14. M. Cyr, R. Idir, G. Escadeillas, Use of metakaolin to stabilize sewage sludge ash and municipal solid waste incineration fly ash in cement-based materials, *Journal of Hazardous Materials*. 243 (2012) 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.10.019>.
15. L. Chen, L. Wang, D.-W. Cho, D.C.W. Tsang, L. Tong, Y. Zhou, J. Yang, Q. Hu, C.S. Poon, Sustainable stabilization/solidification of municipal solid waste incinerator fly ash by incorporation of green materials, *Journal of Cleaner Production*. 222 (2019) 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.057>.
16. W. Zhu, X.H. Rao, Y. Liu, E.-H. Yang, Lightweight aerated metakaolin-based geopolymer incorporating municipal solid waste incineration bottom ash as gas-forming agent, *Journal of Cleaner Production*. 177 (2018) 775–781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.267>.
17. A. Maldonado-Alameda, J. Giro-Paloma, A. Svobodova-Sedlackova, J. Formosa, J.M. Chimenos, Municipal solid waste incineration bottom ash as alkali-activated cement precursor depending on particle size, *Journal of Cleaner Production*. 242 (2020) 118443. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118443>.
18. D. Xuan, P. Tang, C.S. Poon, MSWIBA-based cellular alkali-activated concrete incorporating waste glass powder, *Cement and Concrete Composites*. 95 (2019) 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.10.018>.
20. Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2008.
21. X. Tian, F. Rao, C.A. León-Patiño, S. Song, Effects of aluminum on the expansion and microstructure of alkali-activated MSWI fly ash-based pastes, *Chemosphere*. 240 (2020) 124986. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124986>.
22. Y. Mao, H. Wu, W. Wang, M. Jia, X. Che, Pretreatment of municipal solid waste incineration fly ash and preparation of solid waste source sulfoaluminate cementitious material, *Journal of Hazardous Materials*. 385 (2020) 121580. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121580>.
23. W.-J. Long, J. Peng, Y. Gu, J. Li, B. Dong, F. Xing, Y. Fang, Recycled use of municipal solid waste incinerator fly ash and ferronickel slag for eco-friendly mortar through geopolymer technology, *Journal of Cleaner Production*. 307 (2021) 127281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127281>.
24. Y. Jun, T. Kim, J.H. Kim, Chloride-bearing characteristics of alkali-activated slag mixed with seawater: Effect of different salinity levels, *Cement and Concrete Composites*. 112 (2020) 103680. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103680>.
25. L. Kan, R. Shi, Y. Zhao, X. Duan, M. Wu, Feasibility study on using incineration fly ash from municipal solid waste to develop high ductile alkali-activated composites, *Journal of Cleaner Production*. 254 (2020) 120168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120168>.

26. K. Yin, X. Dou, W.-P. Chan, V.W.-C. Chang, Comparative leaching characteristics of fly/bottom ashes from municipal solid waste incineration under various environmental stresses, *J Mater Cycles Waste Manag.* 22 (2020) 46–55. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00915-4>.
27. G. Weibel, U. Eggenberger, S. Schlumberger, U.K. Mäder, Chemical associations and mobilization of heavy metals in fly ash from municipal solid waste incineration, *Waste Management.* 62 (2017) 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.004>.
28. Ivanov L.A., Bokova E.S., Muminova S.R., Katuhin L.F. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part I. *Nanotechnologies in Construction.* 2020, Vol. 12, no. 1, pp. 27–33. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33).
29. 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, Vol. 12, no. 2, pp. 71–76. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76).
30. Ivanov L.A., Demenev A.V., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part III. *Nanotechnologies in Construction.* 2020, Vol. 12, no. 3, pp. 140–146. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146).
31. 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).
32. 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).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Peng Dong – Master of Science (MSc.) in Civil Engineering, Ph.D. Candidate at Department of Mechanics and Aerospace Engineering, Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China, 12031286@mail.sustech.edu.cn

Jingyi Liu – Master of Science (MSc.) in Civil Engineering, Research Assistant at Department of Mechanics and Aerospace Engineering, Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China, liujy3@mail.sustech.edu.cn

Huiru Wang – Master of Mechanical Engineering (ME.), Ph.D. Candidate at Department of Mechanics and Aerospace Engineering, Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China, 11930843@mail.sustech.edu.cn

Hongyan Yuan – Ph.D., Associate Professor, Department of Mechanics and Aerospace Engineering, Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China, yuanhy3@sustech.edu.cn, <https://orcid.org/0000-0001-8225-0211>

Quan Wang – Ph.D., Chair Professor, Department of Mechanics and Aerospace Engineering, Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China; Chair Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Shantou University, Shantou, Guangdong, China, wangquan@stu.edu.cn, <https://orcid.org/0000-0002-9808-5035>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

P. Dong – research concept; methodology development; writing the draft; final conclusions.

J. Liu – research concept; experiment implementation; figure drawing.

H. Wang – experiment implementation; figure drawing; data analysis.

H. Yuan – final conclusions; data analysis; proof-reading.

Q. Wang – scientific management; data analysis; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 28.01.2022; accepted for publication 03.02.2022.

Получение и свойства экологичных, активированных щелочью строительных материалов на основе золы-уноса, полученной сжиганием твердых бытовых отходов

Пханг Донг¹, Дзинги Лиу¹, Хуэйру Ван¹, Хонгуэн Юэн¹ , Цюэн Ван^{1, 2*} 

¹ Южный научно-технологический университет, Шеньчжэнь, Гуандун, Китай

² Университет Шаньтоу, Шаньтоу, Гуандун, Китай

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: wangquan@stu.edu.cn

АННОТАЦИЯ: Введение. За последние несколько лет назрела серьезная необходимость переработки твердых бытовых отходов (ТБО) в связи с интенсивной урбанизацией. Зола-унос, получаемая путем сжигания ТБО на специальных заводах, проявляет пуццолановые свойства и вызывает опасения, связанные с токсичностью при непосредственном использовании в строительстве. В данной статье представлен метод щелочной активации для получения экологичных, щелочных материалов с различным содержанием золы-уноса, добываемой сжиганием ТБО, а также исследуются их производство и эксплуатационные характеристики. **Материалы и методы.** Композитные щелочные активаторы активируют золу-унос из ТБО с постоянной 5% щелочностью и молярном соотношении Si/Na = 0,86. Подробно изучены объемные плотности, минеральный состав, морфология и прочность на сжатие полученных геополимеров. **Результаты и обсуждения.** Результаты показывают, что применение золы-уноса из ТБО может привести к менее плотным структурам, поскольку из-за щелочных активаторов и металлического алюминия возникают пузырьки воздуха. Более того, производство сросшихся кристаллов также означает увеличение пористости. При проведении морфологического и минерального анализов были обнаружены такие мультикристаллы, как силвин, галит, гидрокаюмит, гидроокись кальция и этtringит. Далее выполнялись испытания прочности на сжатие и определялись характеристики токсичности с помощью выщелачивания (TCLP) с целью изучения механической прочности и характеристик кристаллизации тяжелых металлов материалов из золы-уноса, с оптимальной прочностью на сжатие 19,99 МПа за 28 дней для материала AAFM-10 при условии, что токсичная выщелачиваемость постоянна. **Выводы.** Исследование показывает огромный потенциал внедрения метода щелочной активации для переработки опасной золы ТБО в строительные материалы, которые не только безопасны для экологии, но также обладают высокими эксплуатационными характеристиками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зола-унос коммунальных сточных вод; щелочная активация; минеральный анализ; морфография; прочность на сжатие; выщелачивание токсичности.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают признательность Шеньчжэньскому фонду естественных наук за финансовую поддержку в рамках гранта № 20200925155345003 по программе «Stable Support Plan».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Пханг Донг, Дзинги Лиу, Хуэйру Ван, Хонгуэн Юэн, Цюэн Ван. Получение и свойства экологичных, активированных щелочью строительных материалов на основе золы-уноса, полученной сжиганием твердых бытовых отходов // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 43–52. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-43-52>.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. X. Sun, J. Li, X. Zhao, B. Zhu, G. Zhang, A Review on the Management of Municipal Solid Waste Fly Ash in American, Procedia Environmental Sciences. 31 (2016) 535–540. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.079>.
2. S. Ma, C. Zhou, J. Pan, G. Yang, C. Sun, Y. Liu, X. Chen, Z. Zhao, Leachate from municipal solid waste landfills in a global perspective: Characteristics, influential factors and environmental risks, Journal of Cleaner Production. 333 (2022) 130234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130234>.

3. L.F. Pearse, J.P.A. Hettiaratchi, D. Da Costa, A new biochemical methane potential assay for landfilled waste using the organic fraction of municipal solid waste, *Bioresource Technology Reports*. 12 (2020) 100579. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100579>.
4. L. Makarichi, W. Jutidamrongphan, K. Techato, The evolution of waste-to-energy incineration: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 91 (2018) 812–821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088>.
5. X. Gao, B. Yuan, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers, Characterization and application of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash and waste granite powder in alkali activated slag, *Journal of Cleaner Production*. 164 (2017) 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.218>.
6. J. Li, Z. Dong, E.-H. Yang, Strain hardening cementitious composites incorporating high volumes of municipal solid waste incineration fly ash, *Construction and Building Materials*. 146 (2017) 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.098>.
7. K. Yan, F. Gao, H. Sun, D. Ge, S. Yang, Effects of municipal solid waste incineration fly ash on the characterization of cement-stabilized macadam, *Construction and Building Materials*. 207 (2019) 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.048>.
8. A. Assi, F. Bilo, A. Zanoletti, J. Ponti, A. Valsesia, R. La Spina, A. Zacco, E. Bontempi, Zero-waste approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash, *Journal of Cleaner Production*. 245 (2020) 118779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118779>.
9. J.L. Provis, Alkali-activated materials, *Cement and Concrete Research*. 114 (2018) 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>.
10. Z. Tang, W. Li, Y. Hu, J.L. Zhou, V.W.Y. Tam, Review on designs and properties of multifunctional alkali-activated materials (AAMs), *Construction and Building Materials*. 200 (2019) 474–489. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.157>.
11. K. Tian, Y. Wang, S. Hong, J. Zhang, D. Hou, B. Dong, F. Xing, Alkali-activated artificial aggregates fabricated by red mud and fly ash: Performance and microstructure, *Construction and Building Materials*. 281 (2021) 122552. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122552>.
12. D. Hou, D. Wu, X. Wang, S. Gao, R. Yu, M. Li, P. Wang, Y. Wang, Sustainable use of red mud in ultra-high performance concrete (UHPC): Design and performance evaluation, *Cement and Concrete Composites*. 115 (2021) 103862. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103862>.
13. P. Tang, W. Chen, D. Xuan, H. Cheng, C.S. Poon, D.C.W. Tsang, Immobilization of hazardous municipal solid waste incineration fly ash by novel alternative binders derived from cementitious waste, *Journal of Hazardous Materials*. 393 (2020) 122386. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122386>.
14. M. Cyr, R. Idir, G. Escadeillas, Use of metakaolin to stabilize sewage sludge ash and municipal solid waste incineration fly ash in cement-based materials, *Journal of Hazardous Materials*. 243 (2012) 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.10.019>.
15. L. Chen, L. Wang, D.-W. Cho, D.C.W. Tsang, L. Tong, Y. Zhou, J. Yang, Q. Hu, C.S. Poon, Sustainable stabilization/solidification of municipal solid waste incinerator fly ash by incorporation of green materials, *Journal of Cleaner Production*. 222 (2019) 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.057>.
16. W. Zhu, X.H. Rao, Y. Liu, E.-H. Yang, Lightweight aerated metakaolin-based geopolymer incorporating municipal solid waste incineration bottom ash as gas-forming agent, *Journal of Cleaner Production*. 177 (2018) 775–781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.267>.
17. A. Maldonado-Alameda, J. Giro-Paloma, A. Svobodova-Sedlackova, J. Formosa, J.M. Chimenos, Municipal solid waste incineration bottom ash as alkali-activated cement precursor depending on particle size, *Journal of Cleaner Production*. 242 (2020) 118443. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118443>.
18. D. Xuan, P. Tang, C.S. Poon, MSWIBA-based cellular alkali-activated concrete incorporating waste glass powder, *Cement and Concrete Composites*. 95 (2019) 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.10.018>.
20. Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2008.
21. X. Tian, F. Rao, C.A. León-Patiño, S. Song, Effects of aluminum on the expansion and microstructure of alkali-activated MSWI fly ash-based pastes, *Chemosphere*. 240 (2020) 124986. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124986>.
22. Y. Mao, H. Wu, W. Wang, M. Jia, X. Che, Pretreatment of municipal solid waste incineration fly ash and preparation of solid waste source sulfoaluminate cementitious material, *Journal of Hazardous Materials*. 385 (2020) 121580. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121580>.
23. W.-J. Long, J. Peng, Y. Gu, J. Li, B. Dong, F. Xing, Y. Fang, Recycled use of municipal solid waste incinerator fly ash and ferronickel slag for eco-friendly mortar through geopolymer technology, *Journal of Cleaner Production*. 307 (2021) 127281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127281>.

24. Y. Jun, T. Kim, J.H. Kim, Chloride-bearing characteristics of alkali-activated slag mixed with seawater: Effect of different salinity levels, Cement and Concrete Composites. 112 (2020) 103680. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103680>.
25. L. Kan, R. Shi, Y. Zhao, X. Duan, M. Wu, Feasibility study on using incineration fly ash from municipal solid waste to develop high ductile alkali-activated composites, Journal of Cleaner Production. 254 (2020) 120168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120168>.
26. K. Yin, X. Dou, W.-P. Chan, V.W.-C. Chang, Comparative leaching characteristics of fly/bottom ashes from municipal solid waste incineration under various environmental stresses, J Mater Cycles Waste Manag. 22 (2020) 46–55. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00915-4>.
27. G. Weibel, U. Eggenberger, S. Schlumberger, U.K. Mäder, Chemical associations and mobilization of heavy metals in fly ash from municipal solid waste incineration, Waste Management. 62 (2017) 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.004>.
28. Иванов Л.А., Бокова Е.С., Муминова С.Р., Катухин Л.Ф. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 1. С. 27–33. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33.
29. 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.
30. Иванов Л.А., Деменев А.В., Писаренко Ж.В., Ванг Ц. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 3. С. 140–146. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146.
31. 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.
32. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пханг Донг – магистр гражданского строительства, аспирант Департамента механики и аэрокосмической техники, Южный научно-технологический университет, Шеньчжэнь, Китай, 12031286@mail.sustech.edu.cn

Дзинги Лиу – магистр гражданского строительства, научный сотрудник Департамента механики и аэрокосмической техники, Южный научно-технологический университет, Шеньчжэнь, Китай, liujy3@mail.sustech.edu.cn

Хуэйру Ван – магистр машиностроения, аспирант Департамента механики и аэрокосмической техники, Южный научно-технологический университет, Шеньчжэнь, Китай, 11930843@mail.sustech.edu.cn

Хонгуэн Юэн – Ph.D., доцент Департамента механики и аэрокосмической техники, Южный научно-технологический университет, Шеньчжэнь, Китай, yuanhy3@sustech.edu.cn, <https://orcid.org/0000-0001-8225-0211>

Цюэн Ван – Ph.D., профессор Департамента механики и аэрокосмической техники, Южный научно-технологический университет, Шеньчжэнь; Профессор, Департамент гражданского строительства и инженерных методов охраны окружающей среды, Университет Шаньютоу, Шаньютоу, Гуандун, Китай, wangquan@stu.edu.cn, <https://orcid.org/0000-0002-9808-5035>

ВКЛАД АВТОРОВ

П. Донг – концепция исследования; разработка методологии; подготовка рукописи; заключительные выводы.

Д. Лиу – концепция исследования; проведение эксперимента; создание рисунков.

Х. Ван – проведение эксперимента; создание рисунков; анализ данных.

Х. Юэн – анализ данных; заключительные выводы; корректура.

Ц. Ван – научное руководство; анализ данных; заключительные выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 28.01.2022; принята к публикации 03.02.2022.

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>

CC BY 4.0

Prescription and technological efficiency of sedimentary rocks of various composition and genesis in cement systems

Artemy S. Balykov* , Tatyana A. Nizina , Vladimir M. Kyashkin , Sergey V. Volodin 

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

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

ABSTRACT: Introduction. Active mineral additives that allow controlling the structure formation processes and properties of cement systems are important components of modern modified concretes. Among the numerous types of modifiers for cement composites, the most effective ones include siliceous and aluminosilicate additives containing a significant amount of nanoscale particles, in particular, nanoparticles of silicon dioxides, clays, aluminum oxides and iron oxides. At the same time, common sedimentary rocks, such as diatomites, trepels, opokas, polymineral clays, etc., along with industrial wastes (silica fumes, fly ashes, metallurgical slags) can be promising raw materials for obtaining such modifiers. The purpose of this study was to establish the influence regularities of mineral additives based on sedimentary rocks of various composition and genesis on the technological and physico-mechanical properties of cement systems with the identification of the most effective modifiers. **Methods and materials.** Siliceous rocks (diatomite and opoka), calcined polymineral clays and carbonate rocks (dolomite and chalk) from several deposits of the Republic of Mordovia were used as mineral additives. The study of the chemical and mineralogical composition of sedimentary rocks was carried out using X-ray spectral fluorescence spectrometry and X-ray powder diffraction methods. In addition to the chemical and mineralogical composition, at the initial stage of the study, the specific surface area of mineral additives and Portland cement was determined on the PSX-12 dispersion analysis device using the Kozeny-Carman method. Prescription and technological efficiency of the applied mineral modifiers was evaluated by their effect on water demand, water-holding capacity, flowability of cement paste and mixed cement binder activity. The physical and mechanical characteristics of cement systems were determined using standardized and well-known authorial methods. **Results and discussion.** There were established correlation dependences between indicators of water demand, water-holding capacity, flowability of cement systems and specific surface of mineral additives used. In addition, relationship between the activity index of the studied modifiers and the content of silicon dioxide in their composition was revealed. **Conclusions.** According to the totality of the conducted studies, diatomite, opoka and calcined polymineral clay were identified as the most promising types of mineral additives. The increased effectiveness of these modifiers in cement systems is due to the peculiarities of their chemical and mineralogical composition, in particular, the presence of active silica-containing components (reactive minerals with an amorphized structure) such as opal-cristobalite-tridymite phase in diatomite and opoka as well as products of partial thermal destruction (dehydroxylation) of minerals of kaolinite and illite groups in the calcined polymineral clay.

KEYWORDS: cement system, nanomodifier, mineral additive, sedimentary rock, nanoparticle, chemical and mineralogical composition, physical and mechanical properties, prescription and technological efficiency.

ACKNOWLEDGMENTS: The research was supported by grant from the Russian Science Foundation (project No. 21-73-00228), <https://rscf.ru/en/project/21-73-00228/>.

FOR CITATION: Balykov A.S., Nizina T.A., Kyashkin V.M., Volodin S.V. Prescription and technological efficiency of sedimentary rocks of various composition and genesis in cement systems. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 53–61. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>.

INTRODUCTION

Currently, one of the priority areas of building materials science is the development of theoretical and technological foundations for the design and synthesis of high performance cement system structures at vari-

ous scale levels such as macro, meso, micro levels, up to understanding the importance of the nanoscale level of the material structure organization. Structural modification of the cement matrix through the use of micro or nanoparticles and fibers provides a largely high level of properties of such composites [1, 2, 3, 4].

© Balykov A.S., Nizina T.A., Kyashkin V.M., Volodin S.V., 2022

Among the numerous types of cement system nanomodifiers, the most effective ones include:

- silicon dioxide (SiO_2) nanoparticles with a high specific surface area (at least $180 \text{ m}^2/\text{g}$), contributing to the achievement of radically new physical and mechanical characteristics of cement stone (strength, creep, shrinkage, etc.) due to reduced structure porosity and improved stacking of the structure components, and also thanks to directional changing in the solid phase quality, that it consist in replacing Portlandite crystals and high basic calcium hydrosilicates of C-S-H(II) type with low basic C-S-H(I) phases responsible for the strength and durability of cement composites [5, 6];
- nanoparticles of clays (aluminosilicates), aluminum oxides (Al_2O_3) and iron oxides (Fe_2O_3) that improve elasticity modulus and strength characteristics of cement stone, reduce shrinkage composite deformations and their structure permeability for chlorides, and also make it possible to monitor and record their own compressive stresses of cement systems through change assessment in the volumetric electrical resistance of solutions with these nanoparticles [7, 8].

In addition to using nanomodifiers, the development of physico-chemical and technological methods for controlling the structure parametrs of cement composites at the microscale level remains an important issue. The increased efficiency of using highly dispersive siliceous and aluminosilicate additives of natural and technogenic origin, such as silica fumes, metakaolins, fly ashes, metallurgical slags, etc., in the cement system compositions was established based on the numerous research results by Russian and foreign authors [9, 10, 11, 12, 13], including their own [14, 15]. These mineral additives can have a noticeable amount of nanoscale particles, although basically their granulometric composition is in the micrometric range (10^{-5} – 10^{-7} m).

At the same time, it is worth noting that the territorial limitation, composition variability and often the high cost of the above additives are the main constraining factors of their use. In this regard, expanding the raw material base for obtaining effective mineral additives based on available natural raw materials is an important task. One of the most promising in this respect for many regions of the Russian Federation are common raw materials such as siliceous opal-cristobalite rocks [16, 17, 18], polymineral clays [19, 20, 21] and carbonate rocks [22, 23, 24].

The purpose of this study was to establish the influence regularities of mineral additives (MA) based on sedimentary rocks of different composition and genesis (siliceous, clay and carbonate rocks) on the technological and physico-mechanical properties of cement systems with the identification of the most effective modifiers.

To achieve this objective, the following tasks were solved:

- the chemical and mineralogical composition was studied for the initial sedimentary rocks;
- the effects of mineral additives based on sedimentary rocks of different composition on the water demand, water-holding capacity and flowability of the cement paste were researched;
- the influence of mineral modifiers on the mixed cement binder activity was studied;
- the most effective sedimentary rocks have been established which make it possible to directionally control the technological and physical-mechanical properties of cement systems.

METHODS AND MATERIALS

Materials

The main component of binder in the cement system recipes was Portland cement 500-D0-N (PC) produced by Mordovcement PJSC.

Several groups of sedimentary rocks, previously crushed to different specific surface area, were used as mineral additives:

1) siliceous opal-cristobalite rocks such as diatomite from the Atemarsky deposit of the Republic of Mordovia (DTMT1, DTMT2 and DTMT3); opoka from the Alekseevsky deposit of the Republic of Mordovia (OPK1 and OPK2);

2) clay rocks such as calcined polymineral clays from the Nikitsky (CCN) and Staroshaigovsky (CCS) deposits of the Republic of Mordovia;

Table 1

The types of mineral additives used in the cement system compositions and the values of their specific surface area

Composition number	Type of mineral additives	Specific surface area of MA, m^2/g
1	—	—
2	DTMT1	2.40
3	DTMT2	2.45
4	DTMT3	2.85
5	OPK1	0.70
6	OPK2	0.80
7	CCN	0.78
8	CCS	0.52
9	DY	0.45
10	CA	1.30

Note: the specific surface area of Portland cement used in the experimental study was $0.32 \text{ m}^2/\text{g}$.

3) carbonate rocks such as dolomite from the Yel-nikovskiy deposit (DY) and chalk of the Atemarskiy deposit (CA) of the Republic of Mordovia.

The types of mineral additives used in the cement system compositions, together with the values of their specific surface area, are shown in Table 1.

Methods

The specific surface area of the used mineral additives and Portland cement was determined on the dispersion analysis PSKh-12 device by the Kozeny-Carman method based on the air permeability and porosity establishment of the powder compacted layer. The gas permeability of the powder layer was measured according to the filtering duration of given air volume through the device at fixed vacuum in its working volume.

The research of the chemical composition of sedimentary rocks was carried out by X-ray fluorescence (XRF) spectrometry, based on the collection and subsequent analysis of the spectrum that occurs when the material under study is irradiated with X-ray radiation. The test equipment used was sequential X-ray fluorescence wave spectrometer ARL Perform'X 4200 (Rh K α radiation), designed for qualitative and quantitative analysis of the elemental composition of materials in the range of analyzed elements from F to U. Based on the results of determining the elemental composition of samples, the established concentrations of individual chemical elements were recalculated to their oxides.

The phase composition analysis of sedimentary rocks was done using X-ray powder diffraction (XRD phase analysis). X-ray structural measurements were conducted using an Empyrean automated diffractometer by PANalytical (Netherlands) with a vertical goniometer in the radiation of a copper anode with a nickel filter ensuring suppression of the background and spectral line K β together with the monochromator on the secondary beam. Shooting was done in the geometry according to Bragg-Brentano (θ – 2θ scanning) using a spectral doublet Cu K α 1,2 with weighted average wavelength $\lambda = 1.5406$ Å. X-ray powder diffraction patterns were obtained using PIXcel3D two-coordinate semiconductor detector operating in the linear detector mode.

In addition to the main crystalline phases, the crystallinity degree was determined for samples of siliceous opal-cristobalite rocks whose diffraction patterns contain an amorphous halo (diatomite, opoka). The crystallinity degree of these samples (α_c) was calculated as the ratio of the integral scattering intensity of crystallites to the total intensity of the total scattering from amorphous and crystalline regions:

$$\alpha_c = (I_c / (I_c + I_a)) \cdot 100\%, \quad (1)$$

where I_c is the integrated intensity (total area) of all crystalline peaks; I_a is the integral intensity of amorphous halo.

The intensities of crystalline peaks and amorphous halo on the diffraction patterns were calculated as areas under the corresponding curves.

Prescription and technological efficiency of the used mineral additives was evaluated by their influence on the following cement system indicators: water demand, water-holding capacity and flowability of cement paste as well as the activity of mixed cement binder. The research subjects were cement systems with total dosage of mineral additives equal to 10% by weight of the binder (PC+MA). The composition without mineral additives was adopted as a control composition.

The water demand of cement systems was estimated in the mixed binder system (90% of Portland cement and 10% of mineral additive) by water/solid (water/binder) ratio ($W/(PC+MA)$) of cement paste corresponding to its normal density which was determined on the Vicat apparatus in accordance with the method of the Russian State Standard GOST 310.3.

The water-holding capacity of cement systems was determined by the water separation values of cement paste consisting of a mixed binder (90% PC+10% MA) and water (water-binder ratio $W/(PC+MA) = 1$), when settling the particles of the solid phase in a graduated cylinder in accordance with the Russian State Standard GOST 310.6. The volume of settled cement paste and water accumulated on its surface was recorded every 30 minutes after the first counting for 2 hours. The ratio of the volume of water accumulated on the surface of the paste to the initial volume of the suspension, expressed as a percentage (water separation coefficient by volume) was taken as the water separation value.

The influence regularities of mineral additives on the cement paste flowability were established in compositions with a constant water content (water-binder ratio) using the Hagermann cone (form-cone from the shaking table according to the Russian State Standard GOST 310.4).

The selection of mineral additives was carried out according to the results of the study of their effect on the activity of cement binder with the definition of the activity index of the modifier. The activity index of applied mineral additives was determined under the Russian State Standard GOST R 56178-2014 method by comparing the results of compression strength tests after steaming cement-sand samples-beams of 40×40×160 mm, made using of modified binders consisting of 90% Portland cement and 10% mineral additive (by weight of the binder (PC+MA)), and control samples of unmodified composition with a ratio of cement binder and standard monofractional sand equal to $1/3$. The water-binder ratio was taken the same for all compositions, it equated to the value established for the most water-

demanding composition when the flow spread diameter of fine-grained concrete mixture from the Hagermann cone was reached of 106–108 mm. The procedure for manufacturing and testing of samples-beams adopted following the requirements of the Russian State Standard GOST 310.4, the mode of heat and humidity treatment is selected following the Russian State Standard GOST R 56178-2014 equal to (3 + 3 + 6 + 2) hours at isothermal holding temperature of 80°C.

Based on the results of determining the compressive strength of steamed samples (the activity of cement binders), the activity index of applied mineral additives (C_{MA}) was calculated using the formula

$$C_{MA} = R_2/R_1, \quad (2)$$

where R_1 and R_2 are compressive strength of samples of unmodified (control) and modified (main) compositions, respectively, MPa.

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical and mineralogical composition of the initial sedimentary rocks

The chemical (oxide) composition of the studied siliceous rocks (Atemarsky diatomite and Alekseevsky opoka) as well as clays of the Nikitsky and Staroshaigovsky deposits is shown in Table 2.

Data analysis of data obtained by X-ray fluorescence spectrometry showed the predominance of silicon, aluminum, and iron oxides in the chemical composition of the studied siliceous and clay rocks (wt. %): 53.19–87.23 (SiO_2); 5.15–15.78 (Al_2O_3); 3.41–17.28 (Fe_2O_3) (Table 2).

The diffraction patterns of the studied sedimentary rock powders are shown in the Figure 1.

The results of qualitative and quantitative XRD phase analysis to determine the main crystalline phases and their relative concentrations for clays of the Nikitsky and Staroshaigovsky deposits are given in Table 3. It has been found that the phase compositions of the studied clay rocks are

represented (Fig. 1) predominantly by minerals of the kaolinite group ($d = [\dots; 7.16\text{--}7.19; \dots; 4.04\text{--}4.05; \dots; 3.57\text{--}3.58; \dots; 2.34\text{--}2.35 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 12.3; \dots; 22.0; \dots; 24.9; \dots; 38.4^\circ; \dots]$) and illite group (hydromicas) ($d = [\dots; 10.02; \dots; 4.48\text{--}4.49; \dots; 3.79\text{--}3.80; \dots; 3.49\text{--}3.50; \dots; 3.35\text{--}3.36; \dots; 3.22\text{--}3.23; \dots; 3.00; \dots; 2.57; \dots; 1.50 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 8.8; \dots; 19.8; \dots; 23.5; \dots; 25.4; \dots; 26.6; \dots; 27.7; \dots; 29.8; \dots; 34.9; \dots; 61.6^\circ; \dots]$) as well as by quartz modifications ($d = [\dots; 4.27; \dots; 3.35\text{--}3.36; \dots; 1.82 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 20.8; \dots; 26.6; \dots; 50.1^\circ; \dots]$), feldspars ($d = [\dots; 4.04\text{--}4.05; \dots; 3.79\text{--}3.80; \dots; 3.26; \dots; 3.20\text{--}3.23; \dots; 2.94; \dots; 2.46; \dots; 2.29; \dots; 2.24; \dots; 2.13; \dots; 1.98; \dots; 1.67; \dots; 1.54; \dots; 1.38 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 22.0; \dots; 23.4; \dots; 27.4; \dots; 27.7\text{--}27.9; \dots; 30.4; \dots; 36.5; \dots; 39.4; \dots; 40.2; \dots; 42.4; \dots; 45.7; \dots; 54.8; \dots; 59.9; \dots; 67.7^\circ; \dots]$), and gypsum ($d = [\dots; 7.63; \dots; 4.27; \dots; 3.80; \dots; 3.07; \dots; 2.87; \dots; 2.69 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 11.6; \dots; 20.8; \dots; 23.4; \dots; 29.0; \dots; 31.1; \dots; 33.3^\circ; \dots]$) at their relative content in the overall mass of crystalline phases (wt. %): 18.0–39.8; 23.1–23.2; 19.8–46.9; 11.9–14.2 and 0–3.1, respectively, i.e. the represented clays are polymineral.

The mineralogical compositions of siliceous rocks (diatomite and opoka) are represented (Fig. 1) predominantly by crystalline quartz ($d = [\dots; 4.27\text{--}4.30; \dots; 3.35\text{--}3.37; \dots; 1.82 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 20.6\text{--}20.8; \dots; 26.4\text{--}26.6; \dots; 49.9\text{--}50.1^\circ; \dots]$) and partially crystallized opal-cristobalite-tridymite phase (OCT phase) ($2\theta = 18\text{--}25^\circ$) which is a mixture of crystalline and cryptocrystalline varieties of silica such as cristobalite, tridymite and X-ray amorphous opal. The variability of real structure and characteristic features of individual natural siliceous phases such as the type of complex diffraction profile, the broadening degree of main peak, the resolution and relative intensities of its components, and the migration of interplanar distance value are clearly manifested in the diffraction patterns.

The crystallinity degree of the studied mineral additive samples increases in the direction from diatomite to opoka (from 21.9 to 36.5%) which was established from analysis of the diffraction patterns of siliceous rock powders. The high degree of material structure amorphization, the presence of active silica forms and the structural diversity of

Table 2

Chemical composition of the studied siliceous and clay rocks based on the XRF analysis results (converted to oxides)

Sedimentary rock	Oxides [wt. %]															
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5	ZrO_2	MnO	SO_3	WO_3	NiO	BaO	other
Atemarsky diatomite	87.23	5.15	3.41	1.21	—	1.75	0.73	0.32	0.06	—	—	0.03	—	—	—	0.11
Alekseevsky opoka	73.46	13.26	4.32	1.90	—	6.01	—	0.67	0.06	—	—	0.09	—	—	—	0.23
Nikitsky clay	53.19	15.78	17.28	6.17	0.34	1.60	1.26	1.52	0.25	—	—	1.20	0.52	0.28	—	0.61
Staroshaigovsky clay	66.12	13.72	10.90	4.32	0.55	1.68	1.12	0.64	0.26	0.18	0.13	—	—	—	0.07	0.31

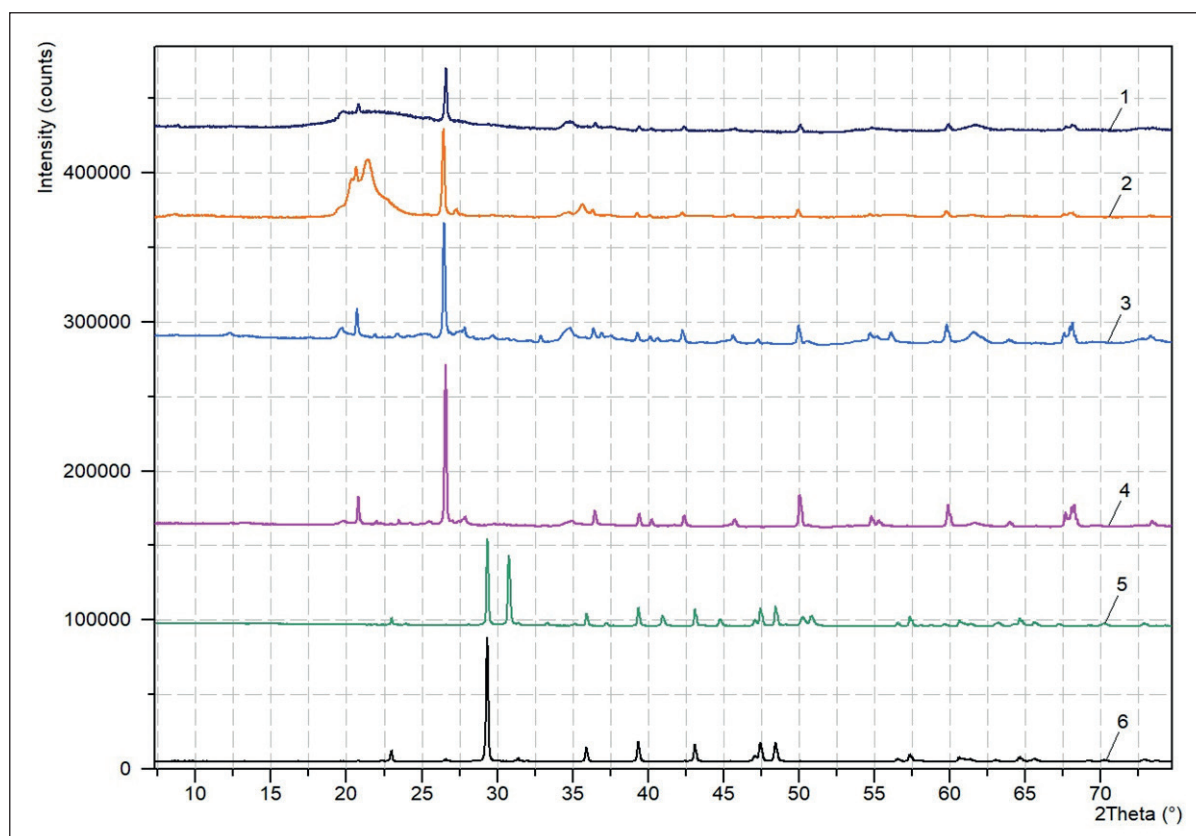


Fig. 1. Diffraction patterns of the studied sedimentary rock powders: Atemarsky diatomite (1); Alekseevsky opoka (2); Nikitsky clay (3); Staroshaigovsky clay (4); Yelnikovsky dolomite (5); Atemarsky chalk (6)

siliceous substance cause improved physical and chemical characteristics of diatomite and opoka, in particular their increased pozzolanic activity in cement systems.

The mineralogical composition of the Yelnikovsky dolomite is represented by phases of the dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ($d = [\dots; 2.90; \dots; 2.41; \dots; 2.20; \dots; 2.02;$

$\dots; 1.82; \dots; 1.80 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 30.8; \dots; 37.2; \dots; 41.0; \dots; 44.8; \dots; 50.2; \dots; 50.8^\circ; \dots]$) and calcite CaCO_3 ($d = [\dots; 3.87; \dots; 3.04; \dots; 2.50; \dots; 2.29; \dots; 2.10; \dots; 1.91; \dots; 1.88 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 23.0; \dots; 29.3; \dots; 35.9; \dots; 39.4; \dots; 43.1; \dots; 47.4; \dots; 48.5^\circ; \dots]$) with the relative phase contents of 52 wt. % and 48 wt. % for dolomite and calcite,

Table 3

Crystalline phase concentrations in the mineralogical compositions of the studied clays (before calcination)

Deposit	Crystalline phases [wt. %]				
	Kaolinite	Illite group (hydromicas)	Quartz modifications	Feldspars	Gypsum
Nikitsky	39.8	23.1	19.8	14.2	3.1
Staroshaigovsky	18.0	23.2	46.9	11.9	—

Table 4

Phase compositions of carbonate rocks

Carbonate rock	Crystalline phases [wt. %]		
	Calcite	Dolomite	Quartz modifications
Yelnikovsky dolomite	48	52	—
Atemarsky chalk	96	—	4

respectively. The phase composition of the Atermarsky chalk is represented predominantly by calcite CaCO_3 ($d = [\dots; 3.87; \dots; 3.04; \dots; 2.50; \dots; 2.29; \dots; 2.10; \dots; 1.92; \dots; 1.88 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 23.0; \dots; 29.3; \dots; 35.9; \dots; 39.3; \dots;$

$43.1; \dots; 47.4; \dots; 48.4^\circ; \dots]$) with inclusions of quartz SiO_2 ($d = [\dots; 4.31; \dots; 3.36; \dots; 1.82 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 20.6; \dots; 26.5; \dots; 50.1^\circ; \dots]$) with the relative phase contents of 96 wt. % and 4 wt. %, respectively (Table 4).

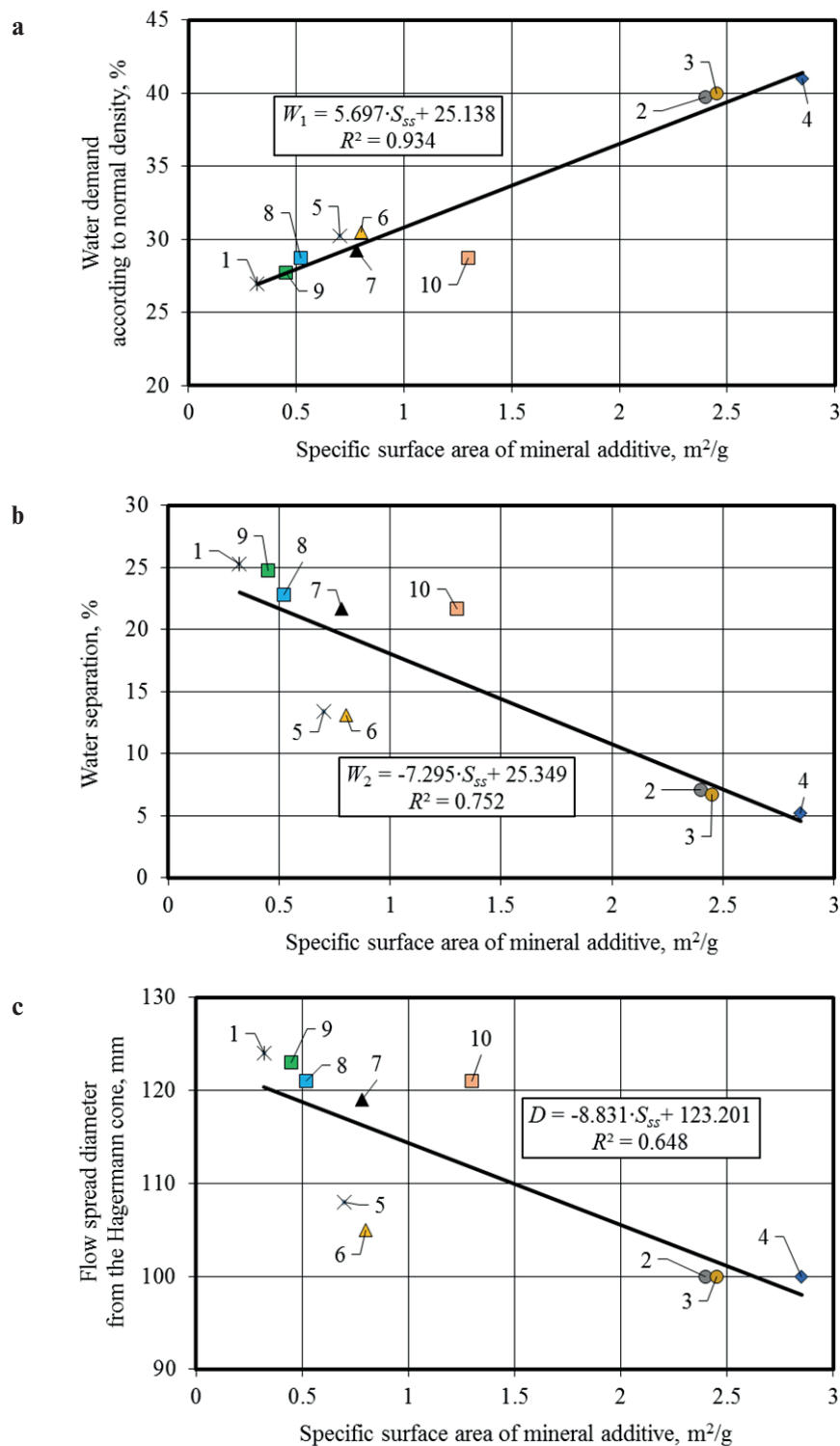


Fig. 2. Correlation dependences between the water demand according to normal density (a), water separation (b), flowability (c) of cement systems and the specific surface area of mineral additives

Influence of sedimentary rocks of different composition and genesis on the technological and physico-mechanical properties of cement systems

Correlation dependences between the indicators of water demand (W_1) (Fig. 2a), water-holding capacity (W_2) (Fig. 2b), flowability (D) (Fig. 2c) of cement systems and the specific surface area of the applied mineral additives (S_{ss}) were established by the study results. In addition, dependence between the activity index of the studied modifiers (C_{MA}) and the silicon dioxide content (ω_{SiO_2}) in their composition was identified (Fig. 3). It should be noted that when establishing the last correlation dependence, only two compositions with siliceous rocks (No. 3 and 6, respectively) were included in the final selection.

From the analysis of obtained data (Fig. 2a), it was found that there is close enough correlation dependence ($R^2 = 0.934$) between the water demand of cement binders according to normal density and the specific surface area of studied types of mineral additives introduced in an amount of 10% by the binder weight. Increase in the specific surface area of mineral additives leads to increase in the water demand of cement systems. At the same time, it was found that binders with the milled diatomite additives (compositions No. 2, 3 and 4) have the highest water demand indicator which is 1.5 times higher than the same indicator for Portland cement.

The binder water separation values (the water separation coefficient of cement paste by volume), on the contrary, decrease with increase in the specific surface area of mineral modifiers (Fig. 2b). The linear dependence between the specified indicator of cement systems and the specific surface area of MA studied types is characterized

by sufficiently high coefficient of determination (R^2) equal to 0.752. Analyzing the results of experimental studies, it was found that Portland cement, carbonate rocks (DY and CA) and calcined clay rocks (CCS and CCN) have the lowest water-holding capacity from the investigated components of cement systems, as evidenced by the increased values of the water separation coefficient by cement paste volume in the compositions Nos. 1, 7, 8, 9, and 10 (25.3, 21.7, 22.8, 24.8, and 21.7%, respectively (Fig. 2b)). The lowest water separation is observed in binders modified with MA based on diatomite (5.2–7.1%, compositions Nos. 2, 3, and 4) and opoka (13.4 and 13.1%, compositions Nos. 5 and 6, respectively).

The cement system flowability, measured by flow spread diameter from Hagermann cone in the compositions with constant water content, also decreases with increasing specific surface areas of MA (Fig. 2c), while the coefficient of determination (R^2) is equal to 0.648. The study showed that the mineral additives used have thickening capacity which increases in sequence DY → CA and CCS → CCN → OPK1 → OPK2 → DTMT1, DTMT2, and DTMT3. The flow spread diameter of modified cement systems from the Hagermann cone is 100–123 mm, which is up to 19% lower than that the composition without MA (124 mm).

The activity index of mineral additives is to some extent dependent on the silicon dioxide content in their compositions, which was established from the study results shown in Figure 3. Increase in the SiO_2 concentration in the sedimentary rock composition contributes to increase in the modifier activity, as evidenced by the corresponding correlation dependence with R^2 equal to 0.461. It was found that the siliceous opal-cristobalite

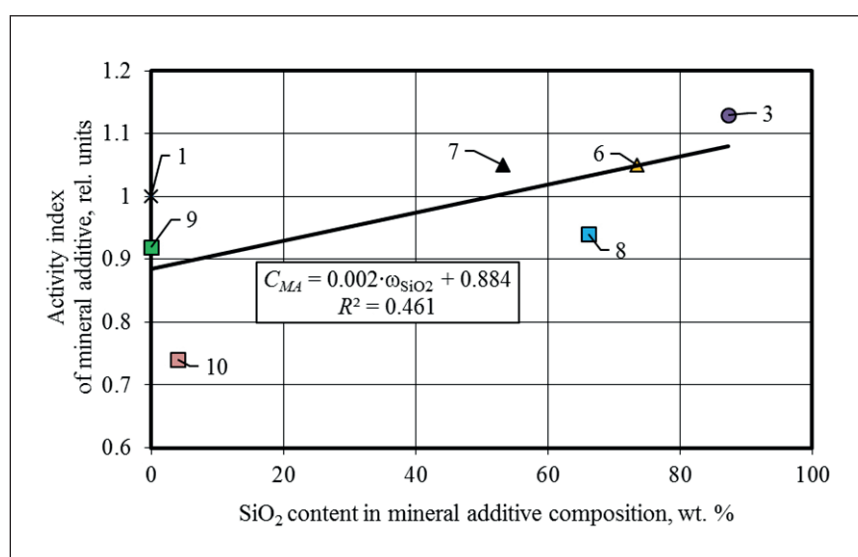


Fig. 3. Correlation dependence between the activity index of mineral additives and the silicon dioxide content in their compositions

rocks (diatomite and opoka) are the most effective in cement systems, in particular, the activity indices of DTMT2 (composition No. 3) and OPK2 (composition No. 6) reach 1.13 and 1.05 rel. units, respectively. Mineral additives based on the calcined Nikitsky clay also have the chemical activity in cement systems, in particular, the CCN activity index in composition No. 7 was 1.05 rel. units.

CONCLUSIONS

The following results were obtained from experimental studies:

1) the chemical and mineralogical composition features were established for the initial siliceous rocks (diato-

mite and opoka), polymineral clays and carbonate rocks (dolomite and chalk);

2) the effects of mineral additives based on sedimentary rocks of different composition on the water demand, water-holding capacity and flowability of the cement paste were revealed;

3) the influence of mineral modifiers on the mixed cement binder activity was established;

4) the most effective sedimentary rocks have been identified which make it possible to directionally control the technological and physical-mechanical properties of cement systems.

Atemarsky diatomite, Alekseevsky opoka and calcined Nikitsky clay were selected as the most promising types of mineral additives for further studies.

REFERENCES

1. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12 (3): 130–139. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139>.
2. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Comparative analysis of influence of nanomodification and micro-dispersed reinforcement on the process and parameters of destruction of high-strength lightweight concrete. *Construction Materials*. 2017; 7: 11–15.
3. Figovsky O.L., Beilin D.A. Ponomarev A.N. Successful implementation of nanotechnologies in building materials. *Nanotechnologies in Construction*. 2012; 3: 6–21.
4. Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Volodin V.V. Physical and mechanical properties of modified fine-grained fibre-reinforced concretes containing carbon nanostructures. *International Journal of Nanotechnology*. 2019; 16: 496–509. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2019.106621>.
5. Ghafari E., Costa H., Júlio E., Portugal A., Durães L. The effect of nanosilica addition on flowability, strength and transport properties of ultra high performance concrete. *Materials and Design*. 2014; 59: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.051>.
6. Jacob J.D.S., Mascelani A.G., Steinmetz R.L.R., Costa F.A.D., Dalla Costa O.A. Use of silica fume and nanosilica in mortars attacked by acids present in pig manure. *Procedia Structural Integrity*. 2018; 11: 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.007>.
7. Bazhenov Yu.M., Falikman V.R., Bulgakov B.I. Nanomaterials and Nanotechnologies in the Present-day Concrete Technology. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2012; 12: 125–133.
8. Falikman V.R., Sobolev K.G. «There's plenty of room at the bottom», or how nanotechnologies can change the world of concrete. Part 1. *Nanotechnologies in Construction*. 2010; 2 (6): 17–31.
9. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Figovsky O.L. Silica fumes of different types for high-performance fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 78: 151–160. <https://doi.org/10.18720/MCE.78.12>.
10. Chand G., Happy S.K., Ram S. Assessment of the properties of sustainable concrete produced from quaternary blend of portland cement, glass powder, metakaolin and silica fume. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021; 4: 100179. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100179>.
11. Kocak Y. Effects of metakaolin on the hydration development of Portland–composite cement. *Journal of Building Engineering*. 2020; 31: 101419. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101419>.
12. Mohammed A.M., Asaad D.S., Al-Hadithi A.I. Experimental and statistical evaluation of rheological properties of self-compacting concrete containing fly ash and ground granulated blast furnace slag. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.12.005>.
13. Nedunuri S.S.S.A., Sertse S.G., Muhammad S. Microstructural study of Portland cement partially replaced with fly ash, ground granulated blast furnace slag and silica fume as determined by pozzolanic activity. *Construction and Building Materials*. 2020; 238: 117561. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117561>.

14. Nizina T.A., Selyaev V.P., Balykov A.S., Volodin V.V., Korovkin D.I. Optimization of compositions of multi-component fine-grained fiber concretes modified at different scale levels. *Nanotechnologies in Construction*. 2017; 9 (2): 43–65. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-2-43-65>.
15. Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Volodin V.V. Modified fine-grained concretes based on highly filled self-compacting mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 481: 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/481/1/012048>.
16. Mota dos Santos A.A., Cordeiro G.C. Investigation of particle characteristics and enhancing the pozzolanic activity of diatomite by grinding. *Materials Chemistry and Physics*. 2021; 270: 124799. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124799>.
17. Taoukil D., El meski Y., Lahlaoui M.L., Djedjig R., El bouardi A. Effect of the use of diatomite as partial replacement of sand on thermal and mechanical properties of mortars. *Journal of Building Engineering*. 2021; 42: 103038. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103038>.
18. Ahmadi Z., Esmaeili J., Kasaei J., Hajialioghli R. Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite. *Sustainable Materials and Technologies*. 2018; 16: 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.05.001>.
19. Sabir B.B., Wild S., Bai J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*. 2001; 23 (6): 441–454. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5).
20. Gaifullin A.R., Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone. *Magazine of Civil Engineering*. 2015; 59: 66–73. <https://doi.org/10.5862/MCE.59.7>.
21. Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin V.V., Kyashkin V.M. Effects of Calcination Temperature and Time on the Physical-Chemical Efficiency of Thermally Activated Clays in Cement Systems. *Materials Science Forum*. 2021; 1017: 61–70. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1017.61>.
22. Celik K., Hay R., Hargis C.W., Moon J. Effect of volcanic ash pozzolan or limestone replacement on hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2019; 197: 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.193>.
23. Lin R.-S., Wang X.-Y., Yi-Han. Effects of cement types and addition of quartz and limestone on the normal and carbonation curing of cement paste. *Construction and Building Materials*. 2021; 305: 124799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124799>.
24. Lollini F., Redaelli E., Bertolini L. Effects of portland cement replacement with limestone on the properties of hardened concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2014; 46: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.10.016>.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Artemy S. Balykov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher at the Research Laboratory of Ecological and Meteorological Monitoring, Building Technologies and Expertises, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, artbalrun@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9087-1608>

Tatyana A. Nizina – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor at the Department of Building Constructions, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, nizinata@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2328-6238>

Vladimir M. Kyashkin – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Solid State Physics, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, kyashkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3413-247X>

Sergey V. Volodin – student, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, svolodin12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2018-4487>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 01.02.2022; accepted for publication 04.02.2022.

Научная статья

УДК 691.54; 691.3

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>

CC BY 4.0

Рецептурно-технологическая эффективность осадочных пород различного состава и генезиса в цементных системах

Артемий Сергеевич Балыков* , Татьяна Анатольевна Низина , Владимир Михайлович Кяшкин ,
Сергей Валерьевич Володин 

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: artbalrun@yandex.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Важным компонентом современных модифицированных бетонов являются активные минеральные добавки, позволяющие управлять процессами структурообразования и свойствами цементных систем. Среди многочисленных видов минеральных модификаторов для цементных композитов к наиболее эффективным относят кремнеземные и алюмосиликатные добавки, содержащие в своем составе значительное количество наноразмерных частиц, в частности, наночастицы диоксида кремния, глины, оксидов алюминия и железа. При этом перспективным сырьем для получения такого рода модификаторов, наряду с отходами промышленности (микрокремнеземы, золы уноса, металлургические шлаки), могут выступать и распространенные осадочные породы – диатомиты, трепелы, опоки, полиминеральные глины и др. Целью данного исследования явилось установление закономерностей влияния минеральных добавок на основе осадочных пород различного состава и генезиса на технологические и физико-механические свойства цементных систем с выявлением наиболее эффективных модификаторов. **Методы и материалы.** В качестве минеральных добавок использовались кремневые (диатомит и опока), глинистые (прокаленные полиминеральные глины) и карбонатные (доломит и мел) осадочные породы ряда месторождений Республики Мордовия. Исследования химико-минералогического состава осадочных пород проводились методами рентгеноспектральной флуоресцентной спектроскопии и порошковой рентгеновской дифракции. Помимо химико-минералогического состава на начальном этапе исследования определялась удельная поверхность минеральных добавок и портландцемента на приборе дисперсионного анализа ПСХ-12 по методу Козени-Кармана. Рецептурно-технологическая эффективность применяемых минеральных модификаторов оценивалась по их влиянию на водопотребность, вододерживающую способность, подвижность цементного теста и активность смешанного цементного вяжущего. Определение значений указанных физико-механических характеристик цементных систем проводилось с использованием стандартизированных и известных авторских методик. **Результаты и обсуждение.** Установлены корреляционные зависимости между показателями водопотребности, вододерживающей способности, подвижности цементных систем и удельной поверхностью применяемых минеральных добавок. Кроме этого, выявлена связь между индексом активности исследуемых модификаторов и содержанием в их составе диоксида кремния. **Заключение.** По совокупности проведенных исследований были выявлены наиболее перспективные виды минеральных добавок: диатомит, опока и прокаленная полиминеральная глина. Повышенная эффективность данных модификаторов в цементных системах обусловлена особенностями их химико-минералогического состава, в частности, наличием активных кремнеземсодержащих компонентов (реакционноспособных минералов с аморфизированной структурой): опал-кристобалит-тридимитовая фаза – в диатомите и опоке; продукты частичного термического разрушения (дегидроксилирования) минералов каолининовой и иллитовой групп – в прокаленной полиминеральной глине. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** цементная система, наномодификатор, минеральная добавка, осадочная порода, наночастица, химико-минералогический состав, физико-механические свойства, рецептурно-технологическая эффективность.

БЛАГОДАРНОСТИ: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-73-00228), <https://rscf.ru/project/21-73-00228/>.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Балыков А.С., Низина Т.А., Кяшкин В.М., Володин С.В. Рецептурно-технологическая эффективность осадочных пород различного состава и генезиса в цементных системах // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 53–61. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из приоритетных направлений строительного материаловедения является разработка теоретических и технологических основ конструирования и синтеза структур высокофункциональных цементных систем на различных масштабных уровнях — макро-, мезо-, микро-, вплоть до понимания важности наноразмерного уровня организации строения материала. Высокий уровень свойств подобного рода композитов в значительной степени обеспечивается структурной модификацией цементной матрицы за счет использования микро- / наночастиц и волокон [1, 2, 3, 4].

Среди многочисленных видов наномодификаторов цементных систем к наиболее эффективным относят:

- наночастицы диоксида кремния (SiO_2) с высокой удельной поверхностью (не менее $180 \text{ м}^2/\text{г}$), способствующие достижению кардинально новых физико-механических характеристик цементного камня (прочность, ползучесть, усадка и др.) за счет улучшенной упаковки составляющих структуры и её пониженной пористости, а также благодаря направленному изменению качества твердой фазы путем замещения портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и высокоосновных гидросиликатов кальция типа C-S-H(II) более прочными низкоосновными фазами C-S-H(I), ответственными за долговечность цементных композитов [5, 6];
- наночастицы глин (алюмосиликаты), оксидов алюминия (Al_2O_3) и железа (Fe_2O_3), способствующие повышению модуля упругости и прочностных характеристик цементного камня, снижению усадочных деформаций композитов и проницаемости их структуры для хлоридов, а также дающие возможность проводить мониторинг и регистрацию собственных сжимающих напряжений цементных систем через изменение объемного электрического сопротивления растворов с данными наночастицами [7, 8].

Помимо использования наномодификаторов важным вопросом остается разработка физико-химических и технологических методов управления параметрами структуры цементных композитов и на микроразмерном уровне. По результатам многочисленных исследований российских и зарубежных авторов [9, 10, 11, 12, 13], в том числе и собственных [14, 15], установлена повышенная эффективность применения в рецептуре цементных систем тонкодисперсных кремнеземистых и алюмосиликатных добавок природного и техногенного происхождения (микрокремнеземы, метакаолины, золы уноса, металлургические шлаки и др.). Данные минеральные добавки могут иметь заметное количество частиц

наноразмерного уровня, хотя, в основном, это модификаторы с распределением гранулометрического состава в микрометрическом диапазоне ($10^{-5} \div 10^{-7} \text{ м}$).

В то же время стоит отметить, что основными сдерживающими факторами применения приведенных выше добавок являются их территориальная ограниченность, непостоянство состава и зачастую высокая стоимость. В связи с этим важной задачей является расширение сырьевой базы для получения эффективных минеральных добавок на основе доступного природного сырья. Одними из наиболее перспективных в данном отношении для многих регионов Российской Федерации являются распространенные осадочные породы: кремневые опал-кristобалитовые [16, 17, 18], глинистые полиминеральные [19, 20, 21] и карбонатные породы [22, 23, 24].

Целью данного исследования являлось установление закономерностей влияния минеральных добавок (МД) на основе осадочных пород различного состава и генезиса (кремневые, глинистые, карбонатные породы) на технологические и физико-механические свойства цементных систем с выявлением наиболее эффективных модификаторов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) изучен химико-минералогический состав исходных осадочных пород;
- 2) исследовано влияние минеральных добавок на основе осадочных пород различного состава на водопотребность, водоудерживающую способность и подвижность цементного теста;
- 3) изучено влияние минеральных модификаторов на активность смешанного цементного вяжущего;
- 4) установлены наиболее эффективные осадочные породы, позволяющие направленно управлять технологическими и физико-механическими свойствами цементных систем.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Материалы

Основным компонентом вяжущего в рецептуре цементных систем являлся портландцемент марки ПЦ 500-Д0-Н (Ц) производства ПАО «Мордовцемент». В качестве минеральных добавок использовались несколько групп осадочных пород, предварительно измельченных до различной удельной поверхности:

- 1) кремневые опал-кristобалитовые: диатомит Атемарского месторождения Республики Мордовия (ДТМТ1, ДТМТ2 и ДТМТ3); опока Алексеевского месторождения Республики Мордовия (ОПК1 и ОПК2);

2) глинистые: прокаленные полиминеральные глины Никитского (ПГН) и Старошайговского (ПГС) месторождений Республики Мордовия;

3) карбонатные: доломит Ельниковского (ДЕ) и мел Атемарского (МА) месторождений Республики Мордовия.

В табл. 1 приведены виды минеральных добавок, используемых в составах цементных систем, и значения их удельной поверхности.

Таблица 1

Виды минеральных добавок, используемых в составах цементных систем, и значения их удельной поверхности

Номер состава	Вид используемой МД	Удельная поверхность МД, м ² /г
1	—	—
2	ДТМТ1	2,40
3	ДТМТ2	2,45
4	ДТМТ3	2,85
5	ОПК1	0,70
6	ОПК2	0,80
7	ПГН	0,78
8	ПГС	0,52
9	ДЕ	0,45
10	МА	1,30

Примечание: удельная поверхность применяемого в экспериментальном исследовании портландцемента – 0,32 м²/г.

Методы

Определение удельной поверхности порошков портландцемента и минеральных добавок проводилось на приборе дисперсионного анализа ПСХ-12 по методу Козени-Кармана, основанному на установлении воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка. Газопроницаемость слоя порошка измерялась по продолжительности фильтрации через прибор заданного объема воздуха при фиксированном разряжении в рабочем объеме прибора.

Исследование химического состава осадочных пород проводилось методом рентгеноспектральной флуоресцентной спектрометрии, основанной на сборе и последующем анализе спектра, возникающего при облучении исследуемого материала рентгеновским излучением. В качестве испытательного оборудования использовался последовательный рентгенофлуоресцентный волновой спектрометр ARL

Perform'X 4200 (Rh K_α-излучение), предназначенный для качественного и количественного анализа элементного состава материалов в диапазоне анализируемых элементов от F до U. По результатам определения элементного состава проб проводился пересчет установленных концентраций отдельных химических элементов на их оксиды.

Анализ фазового состава осадочных пород проводился с применением метода порошковой рентгеновской дифракции (рентгенофазовый анализ (РФА)). Рентгеноструктурные измерения проводились на автоматизированном дифрактометре «Empyrean» компании PANalytical (Нидерланды) с вертикальным гониометром в излучении медного анода с никелевым фильтром, обеспечивающим совместно с монохроматором на вторичном пучке подавление фона и спектральной линии K_β. Съемка осуществлялась в геометрии по Бреггу-Брентано (θ-2θ сканирование) с использованием спектрального дублета Cu K_{α1,2} со средневзвешенной длиной волны λ = 1,5406 Å. Дифрактограммы снимались с применением двухкоординатного полупроводникового детектора PIXcel^{3D}, работающего в режиме линейного детектора.

Кроме установления основных кристаллических фаз для образцов кремневых опал-кристаллитовых пород, дифрактограмма которых содержит аморфное гало (диатомит, опока), определена степень кристалличности. Степень кристалличности указанных образцов (α_к) рассчитывалась как отношение интегральной интенсивности рассеяния кристаллитов к суммарной интенсивности общего рассеяния от аморфных и кристаллических областей:

$$\alpha_k = (I_k / (I_k + I_a)) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где I_k – интегральная интенсивность (суммарная площадь) всех кристаллических пиков;

I_a – интегральная интенсивность аморфного гало.

Интенсивности кристаллических пиков и аморфного гало на дифрактограммах вычислялись в виде площадей под соответствующими кривыми.

Рецептурно-технологическая эффективность применяемых минеральных добавок оценивалась по их влиянию на следующие показатели цементных систем: водопотребность, водоудерживающая способность, подвижность цементного теста, а также активность смешанного цементного вяжущего. Исследования проводились на цементных системах с суммарной дозировкой минеральных добавок 10% от массы вяжущего (Ц+МД). В качестве контрольного принят состав без минеральных добавок.

Водопотребность цементных систем оценивалась в системе смешанного вяжущего (90% портландцемента и 10% минеральной добавки) по водо-

твердому (водовязущему) отношению ($V/(Ц+МД)$) цементного теста, соответствующему величине его нормальной густоты, определяемой на приборе Вика в соответствии с методикой ГОСТ 310.3.

Водоудерживающая способность цементных систем определялась по величине водоотделения цементного теста, состоящего из смешанного вяжущего (90% Ц+10% МД) и воды (водовязущее отношение $V/(Ц+МД) = 1$), при оседании частиц твердой фазы на градуированном цилиндре по ГОСТ 310.6. Объем осевшего цементного теста и воды, скопившейся на его поверхности, фиксировался каждые 30 минут после первого отсчета в течение 2 часов. За величину водоотделения принималось соотношение объема воды, скопившейся на поверхности теста к исходному объему суспензии, выраженное в процентах (коэффициент водоотделения цементного теста по объему).

Анализ изменения подвижности цементного теста в зависимости от применяемой минеральной добавки осуществлялся с применением конуса Хегерманна (форма-конус от встряхивающего столика по ГОСТ 310.4) при постоянном водосодержании (водовязущем отношении) исследуемых композиций.

Отбор минеральных добавок проводился по результатам исследования их влияния на активность цементного вяжущего с определением индекса активности модификатора. Индекс активности применяемых минеральных добавок определялся в соответствии с методикой ГОСТ Р 56178-2014 путем сопоставления результатов испытаний по прочности на сжатие после пропарки модифицированных цементно-песчаных образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм, изготовленных с использованием 90% портландцемента и 10% минеральной добавки (по массе вяжущего (Ц+МД)), и стандартных немодифицированных образцов при соотношении в составах цементного вяжущего и стандартного

монофракционного песка, равном $1/3$. Водовязущее отношение принималось одинаковым для всех составов, приравнивалось к величине, подобранной для наиболее водопотребного состава при достижении диаметра расплыва конуса Хегерманна мелкозернистой бетонной смеси $106 \div 108$ мм. Процедура изготовления и испытания образцов-балочек приняты с учетом требований ГОСТ 310.4, режим тепловлажностной обработки выбран согласно ГОСТ Р 56178-2014 – $(3+3+6+2)$ ч при температуре изотермической выдержки 80°C .

По результатам определения прочности на сжатие пропаренных образцов (активности цементных вяжущих) вычислялся индекс активности применяемых минеральных добавок ($K_{МД}$) по формуле

$$K_{МД} = R_2/R_1, \quad (2)$$

где R_1 и R_2 – прочность на сжатие образцов немодифицированного (контрольного) и модифицированного (основного) составов соответственно, МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химико-минералогический состав исходных осадочных пород

Химический (оксидный) состав исследуемых кремневых пород (Атемарского диатомита и Алексеевской опоки), а также глин Никитского и Старошайговского месторождений приведен в табл. 2.

Анализ данных, полученных методом рентгено-спектральной флуоресцентной спектроскопии, показал преобладание в химическом составе исследуемых кремневых и глинистых пород оксидов кремния, алюминия и железа (мас. %): SiO_2 – $53,19 \div 87,23$; Al_2O_3 – $5,15 \div 15,78$; Fe_2O_3 – $3,41 \div 17,28$ (табл. 2).

На рис. 1 представлены дифрактограммы порошков исследуемых осадочных пород.

Таблица 2

Химический состав исследуемых кремневых и глинистых пород по результатам рентгенофлуоресцентного анализа (в пересчете на оксиды)

Осадочная порода	Оксидный состав, мас. %															
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5	ZrO_2	MnO	SO_3	WO_3	NiO	BaO	other
Диатомит Атемарский	87,23	5,15	3,41	1,21	—	1,75	0,73	0,32	0,06	—	—	0,03	—	—	—	0,11
Опока Алексеевская	73,46	13,26	4,32	1,90	—	6,01	—	0,67	0,06	—	—	0,09	—	—	—	0,23
Глина Никитская	53,19	15,78	17,28	6,17	0,34	1,60	1,26	1,52	0,25	—	—	1,20	0,52	0,28	—	0,61
Глина Старошайговская	66,12	13,72	10,90	4,32	0,55	1,68	1,12	0,64	0,26	0,18	0,13	—	—	—	0,07	0,31

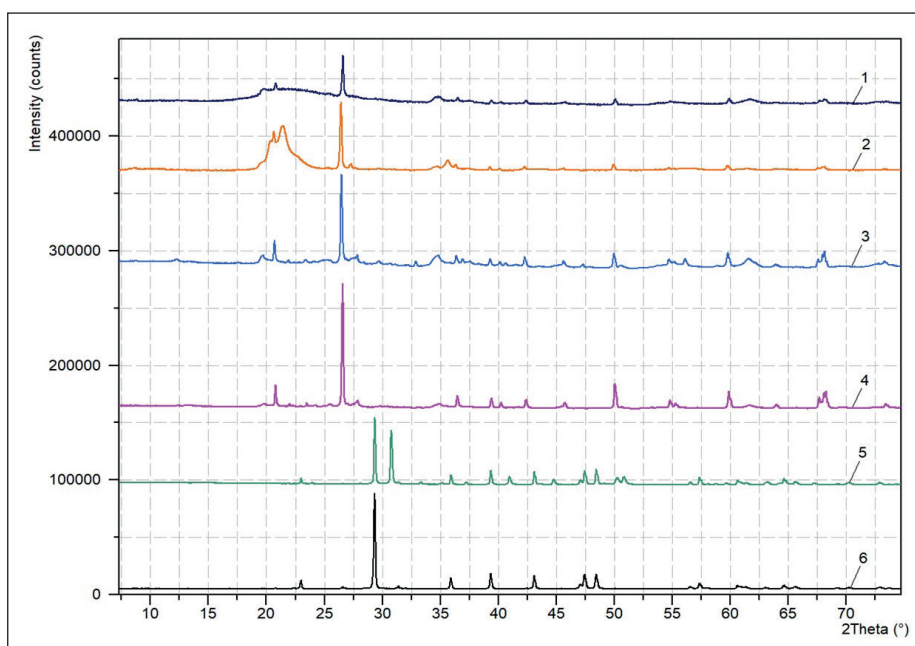


Рис. 1. Дифрактограммы порошков исследуемых осадочных пород: 1 – диатомит Атемарский; 2 – опока Алексеевская; 3 – глина Никитская; 4 – глина Старошайговская; 5 – доломит Ельниковский; 6 – мел Атемарский

Результаты качественного и количественного рентгенофазового анализа по определению основных кристаллических фаз и их относительных концентраций для глин Никитского и Старошайговского месторождения представлены в табл. 3. Выявлено, что фазовый состав исследуемых глинистых пород представлен (рис. 1) преимущественно минералами каолиновой ($d = [\dots; 7,16 \div 7,19; \dots; 4,04 \div 4,05; \dots; 3,57 \div 3,58; \dots; 2,34 \div 2,35 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 12,3; \dots; 22,0; \dots; 24,9; \dots; 38,4^\circ; \dots]$) и иллитовой (гидролюда) ($d = [\dots; 10,02; \dots; 4,48 \div 4,49; \dots; 3,79 \div 3,80; \dots; 3,49 \div 3,50; \dots; 3,35 \div 3,36; \dots; 3,22 \div 3,23; \dots; 3,00; \dots; 2,57; \dots; 1,50 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 8,8; \dots; 19,8; \dots; 23,5; \dots; 25,4; \dots; 26,6; \dots; 27,7; \dots; 29,8; \dots; 34,9; \dots; 61,6^\circ; \dots]$) групп, а также модификациями кварца ($d = [\dots; 4,27; \dots; 3,35 \div 3,36; \dots; 1,82 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 20,8; \dots; 26,6; \dots; 50,1^\circ; \dots]$), полевыми шпатами ($d = [\dots; 4,04 \div 4,05; \dots; 3,79 \div 3,80; \dots; 3,26; \dots; 3,20 \div 3,23; \dots; 2,94; \dots; 2,46; \dots; 2,29; \dots; 2,24; \dots; 2,13; \dots; 1,98; \dots; 1,67; \dots; 1,54; \dots; 1,38 \text{ \AA}; \dots]$,

$2\theta = [\dots; 22,0; \dots; 23,4; \dots; 27,4; \dots; 27,7 \div 27,9; \dots; 30,4; \dots; 36,5; \dots; 39,4; \dots; 40,2; \dots; 42,4; \dots; 45,7; \dots; 54,8; \dots; 59,9; \dots; 67,7^\circ; \dots]$) и гипсом ($d = [\dots; 7,63; \dots; 4,27; \dots; 3,80; \dots; 3,07; \dots; 2,87; \dots; 2,69 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 11,6; \dots; 20,8; \dots; 23,4; \dots; 29,0; \dots; 31,1; \dots; 33,3^\circ; \dots]$) при их относительном содержании в общей массе кристаллических фаз (мас. %): $18,0 \div 39,8$; $23,1 \div 23,2$; $19,8 \div 46,9$; $11,9 \div 14,2$ и $0 \div 3,1$ соответственно, т.е. представленные глины являются полиминеральными.

Минералогический состав кремневых пород (диатомита и опоки) представлен (рис. 1) преимущественно кристаллическим кварцем ($d = [\dots; 4,27 \div 4,30; \dots; 3,35 \div 3,37; \dots; 1,82 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 20,6 \div 20,8; \dots; 26,4 \div 26,6; \dots; 49,9 \div 50,1^\circ; \dots]$) и частично закристаллизованной опал-кристобалит-тридимитовой фазой (ОКТ-фаза) ($2\theta = 18 \div 25^\circ$), представляющей собой смесь кристаллических и скрытокристаллических разновидностей кремнезема: кристобалита, тридимита и рентгеноаморфного

Таблица 3

Концентрации кристаллических фаз в минералогическом составе исследуемых глин (до термообработки)

Месторождение	Кристаллические фазы, мас. %				
	Модификации каолинита	Иллитовая группа (гидролюда)	Модификации кварца	Полевые шпаты	Гипс
Никитское	39,8	23,1	19,8	14,2	3,1
Старошайговское	18,0	23,2	46,9	11,9	—

опала. Характерные признаки и изменчивость реальной структуры отдельных природных кремнистых фаз отчетливо проявляются на дифрактограммах: вид сложного дифракционного профиля, степень уширения главного пика, разрешение и относительные интенсивности его составляющих, миграция значения межплоскостного расстояния.

По результатам анализа дифрактограмм порошков кремневых пород установлено, что степень кристалличности исследуемых образцов минеральных добавок повышается в направлении диатомит → опока, с 21,9 до 36,5%. Высокая степень аморфизированности структуры материала, наличие активных форм кремнезема и структурное разнообразие кремнистого вещества обуславливает улучшенные физико-химические характеристики диатомита и опоки, в частности их повышенную пуццолановую активность в цементных системах.

Минералогический состав доломита Ельниковского месторождения представлен фазами доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ($d = [\dots; 2,90; \dots; 2,41; \dots; 2,20; \dots; 2,02; \dots; 1,82; \dots; 1,80 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 30,8; \dots; 37,2; \dots; 41,0; \dots; 44,8; \dots; 50,2; \dots; 50,8^\circ; \dots]$) и кальцита CaCO_3 ($d = [\dots; 3,87; \dots; 3,04; \dots; 2,50; \dots; 2,29; \dots; 2,10; \dots; 1,91; \dots; 1,88 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 23,0; \dots; 29,3; \dots; 35,9; \dots; 39,4; \dots; 43,1; \dots; 47,4; \dots; 48,5^\circ; \dots]$) при следующем относительном содержании фаз (мас. %): доломит – 52; кальцит – 48. Фазовый состав мела Атемарского месторождения представлен преимущественно кальцитом CaCO_3 ($d = [\dots; 3,87; \dots; 3,04; \dots; 2,50; \dots; 2,29; \dots; 2,10; \dots; 1,92; \dots; 1,88 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 23,0; \dots; 29,3; \dots; 35,9; \dots; 39,3; \dots; 43,1; \dots; 47,4; \dots; 48,4^\circ; \dots]$) с включениями кварца SiO_2 ($d = [\dots; 4,31; \dots; 3,36; \dots; 1,82 \text{ \AA}; \dots]$, $2\theta = [\dots; 20,6; \dots; 26,5; \dots; 50,1^\circ; \dots]$) – 96 и 4 мас. % соответственно (табл. 4).

Влияние осадочных пород различного состава и генезиса на технологические и физико-механические свойства цементных систем

По результатам исследования установлены корреляционные зависимости между показателями водопотребности (W_1) (рис. 2, а), водоудерживающей способности (W_2) (рис. 2, б), подвижности цементных систем (D) (рис. 2, в) и удельной поверхностью применяемых минеральных добавок ($S_{уд}$). Кроме

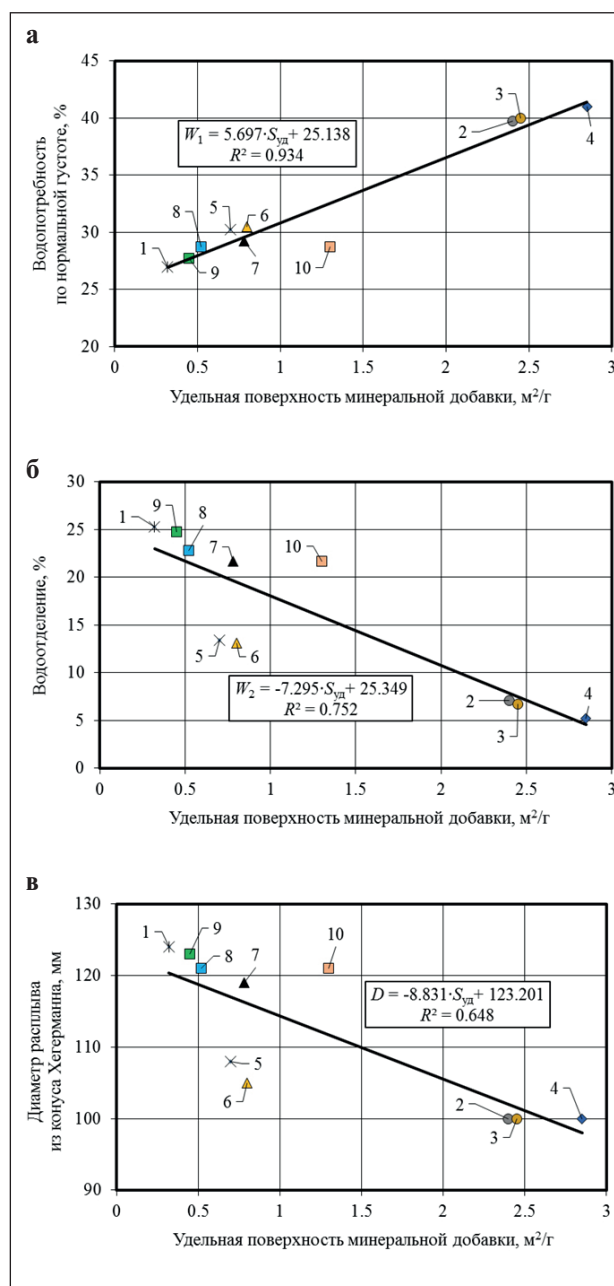


Рис. 2. Корреляционные зависимости между водопотребностью по нормальной густоте (а), водоотделению (б), подвижностью по расплыву конуса Хеггерманна (в) цементных систем и удельной поверхностью минеральных добавок

Таблица 4

Фазовый состав карбонатных пород

Карбонатная порода	Кристаллические фазы, мас. %		
	Кальцит	Доломит	Модификации кварца
Доломит Ельниковский	48	52	—
Мел Атемарский	96	—	4

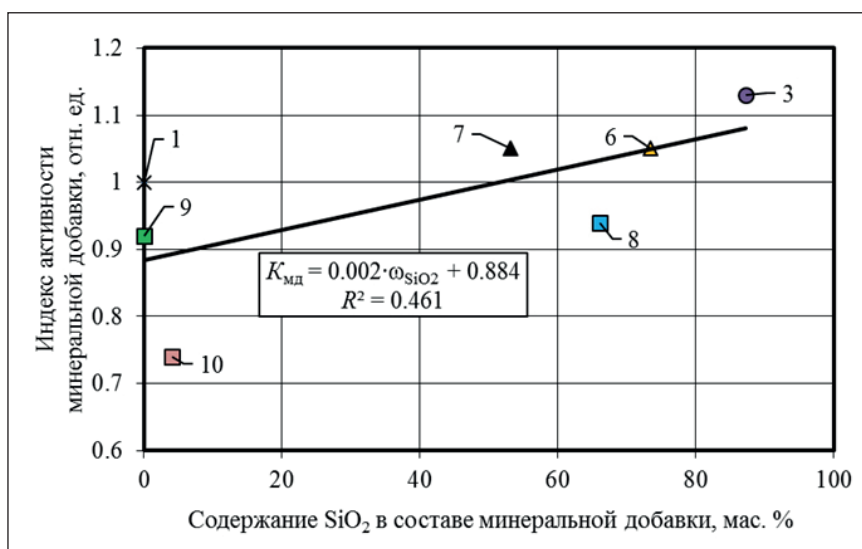


Рис. 3. Корреляционная зависимость между индексом активности минеральных добавок и содержанием SiO_2 в их составе

этого, выявлена связь между индексом активности исследуемых модификаторов ($K_{\text{мд}}$) и содержанием в их составе диоксида кремния (ω_{SiO_2}) (рис. 3). Стоит отметить, что при установлении последней градуировочной зависимости в итоговую выборку было включено только два состава с кремнистыми породами (№ 3 и 6 соответственно).

Из анализа полученных данных установлено (рис. 2 а), что между водопотребностью цементных вяжущих по нормальной густоте и удельной поверхностью исследуемых видов минеральных добавок, вводимых в количестве 10% от массы вяжущего, наблюдается достаточно тесная корреляционная зависимость ($R^2 = 0,934$). Увеличение удельной поверхности минеральных добавок приводит к повышению водопотребности цементных систем. При этом выявлено, что наибольшей водопотребностью, в 1,5 раза превышающей аналогичный показатель для портландцемента, обладают композиции с добавками измельченного диатомита (составы № 2, 3 и 4).

Значения водоотделения вяжущего (коэффициента водоотделения цементного теста по объему), напротив, снижаются с повышением удельной поверхности минеральных модификаторов (рис. 2 б). Линейная зависимость между указанным показателем цементных систем и удельной поверхностью исследуемых видов МД характеризуется достаточно высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,752$. Анализируя результаты экспериментальных исследований, выявили, что портландцемент, карбонатные (ДЕ и МА) и прокаленные глинистые (ПГС и ПГН) породы отличаются наименьшей водоудерживающей способностью из рассматриваемых компонентов цементных систем, о чем свидетельствуют по-

вышенные значения коэффициента водоотделения цементного теста по объему у составов № 1, 7, 8, 9 и 10 (25,3, 21,7, 22,8, 24,8 и 21,7% соответственно (рис. 2б)). Наименьшее водоотделение наблюдается у вяжущих, модифицированных МД на основе диатомита (5,2÷7,1%, составы № 2, 3 и 4) и опоки (13,4 и 13,1 %, состав № 5 и 6 соответственно).

Подвижность цементных систем, оцениваемая при их постоянном водосодержании по распылу конуса Хегерманна, также снижается при увеличении удельной поверхности МД (рис. 2 в), при этом теснота корреляционной связи составляет $R^2 = 0,648$. По результатам исследования установлена загущающая способность применяемых минеральных добавок, повышающая в ряду ДЕ → МА / ПГС → ПГН → ОПК1 → ОПК2 → ДТМТ1 / ДТМТ2 / ДТМТ3. Диаметр распыла модифицированных цементных систем из конуса Хегерманна составляет 100÷123 мм, что до 19 % ниже, чем у состава без МД (124 мм).

Анализируя рис. 3, установлено, что индекс активности минеральных добавок в определенной степени связан с содержанием в их составе диоксида кремния. Увеличение концентрации SiO_2 в составе осадочной породы способствует повышению активности модификатора, о чем свидетельствует соответствующая корреляционная зависимость ($R^2 = 0,461$). Установлено, что наибольшей эффективностью в цементных системах отличаются кремневые опал-кристобалитовые породы (диатомит и опока), в частности, индексы активности ДТМТ2 (состав № 3) и ОПК2 (состав № 6) достигают 1,13 и 1,05 отн. ед. соответственно. Также химической активностью в цементных композициях обладают минеральные добавки на основе обожженной Ни-

китской глины — индекс активности ПГН в составе № 7 составил 1,05 отн. ед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1) установлены особенности химико-минералогического состава исходных осадочных пород (кремневые (диатомит и опока), глинистые (полиминеральные глины) и карбонатные (доломит и мел));

2) выявлено влияние минеральных добавок на основе осадочных пород различного состава на водопо-

требность, водоудерживающую способность и подвижность цементного теста;

3) установлено влияние минеральных модификаторов на активность смешанного цементного вяжущего;

4) выявлены наиболее эффективные осадочные породы, позволяющие направленно управлять технологическими и физико-механическими свойствами цементных систем.

В качестве наиболее перспективных для дальнейших работ были выбраны следующие виды минеральных добавок: Атемарский диатомит, Алексеевская опока и прокаленная Никитская глина.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 3. С. 130–139. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139>.
2. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Сравнительный анализ влияния наномодифицирования и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения высокопрочных легких бетонов // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 11–15.
3. Фиговский О.Л., Бейлин Д.А., Пономарев А.Н. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 3. С. 6–21.
4. Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Volodin V.V. Physical and mechanical properties of modified fine-grained fibre-reinforced concretes containing carbon nanostructures. *International Journal of Nanotechnology*. 2019; 16: 496–509. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2019.106621>.
5. Ghafari E., Costa H., Júlio E., Portugal A., Durães L. The effect of nanosilica addition on flowability, strength and transport properties of ultra high performance concrete. *Materials and Design*. 2014; 59: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.051>.
6. Jacob J.D.S., Mascelani A.G., Steinmetz R.L.R., Costa F.A.D., Dalla Costa O.A. Use of silica fume and nanosilica in mortars attacked by acids present in pig manure. *Procedia Structural Integrity*. 2018; 11: 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.007>.
7. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р., Булгаков Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 125–133.
8. Фаликман В.Р., Соболев К.Г. «Простор за пределом», или как нанотехнологии могут изменить мир бетона. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. 2010. Том 2, № 6. С. 17–31.
9. Рассохин А.С., Пономарев А.Н., Фиговский О.Л. Микрокремнеземы различных типов для высокопрочных мелкозернистых бетонов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 2 (78). С. 151–160. <https://doi.org/10.18720/MCE.78.12>.
10. Chand G., Happy S.K., Ram S. Assessment of the properties of sustainable concrete produced from quaternary blend of portland cement, glass powder, metakaolin and silica fume. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021; 4: 100179. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100179>.
11. Kocak Y. Effects of metakaolin on the hydration development of Portland–composite cement. *Journal of Building Engineering*. 2020; 31: 101419. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101419>.
12. Mohammed A.M., Asaad D.S., Al-Hadithi A.I. Experimental and statistical evaluation of rheological properties of self-compacting concrete containing fly ash and ground granulated blast furnace slag. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.12.005>.
13. Nedunuri S.S.S.A., Sertse S.G., Muhammad S. Microstructural study of Portland cement partially replaced with fly ash, ground granulated blast furnace slag and silica fume as determined by pozzolanic activity. *Construction and Building Materials*. 2020; 238: 117561. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117561>.

14. Низина Т.А., Селяев В.П., Балыков А.С., Володин В.В., Коровкин Д.И. Оптимизация составов многокомпонентных мелкозернистых фибробетонов, модифицированных на различных масштабных уровнях // Нанотехнологии в строительстве. 2017. Том 9, № 2. С. 43–65. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-2-43-65>.
15. Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Volodin V.V. Modified fine-grained concretes based on highly filled self-compacting mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 481: 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/481/1/012048>.
16. Mota dos Santos A.A., Cordeiro G.C. Investigation of particle characteristics and enhancing the pozzolanic activity of diatomite by grinding. *Materials Chemistry and Physics*. 2021; 270: 124799. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124799>.
17. Taoukil D., El meski Y., Lahlaoui M.L., Djedjig R., El bouardi A. Effect of the use of diatomite as partial replacement of sand on thermal and mechanical properties of mortars. *Journal of Building Engineering*. 2021; 42: 103038. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103038>.
18. Ahmadi Z., Esmaeili J., Kasaei J., Hajialioghli R. Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite. *Sustainable Materials and Technologies*. 2018; 16: 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.05.001>.
19. Sabir B.B., Wild S., Bai J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*. 2001; 23 (6): 441–454. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5).
20. Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 7 (59). С. 66–73. <https://doi.org/10.5862/MCE.59.7>.
21. Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin V.V., Kyashkin V.M. Effects of Calcination Temperature and Time on the Physical-Chemical Efficiency of Thermally Activated Clays in Cement Systems. *Materials Science Forum*. 2021; 1017: 61–70. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1017.61>.
22. Celik K., Hay R., Hargis C.W., Moon J. Effect of volcanic ash pozzolan or limestone replacement on hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2019; 197: 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.193>.
23. Lin R.-S., Wang X.-Y., Yi-Han. Effects of cement types and addition of quartz and limestone on the normal and carbonation curing of cement paste. *Construction and Building Materials*. 2021; 305: 124799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124799>.
24. Lollini F., Redaelli E., Bertolini L. Effects of portland cement replacement with limestone on the properties of hardened concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2014; 46: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.10.016>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Балыков Артемий Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия, artbalrun@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9087-1608>

Низина Татьяна Анатольевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия, nizinata@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2328-6238>

Кяшкин Владимир Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики твердого тела, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия, kyashkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3413-247X>

Володин Сергей Валерьевич – студент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия, svolodin12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2018-4487>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 01.02.2022; принята к публикации 04.02.2022.

Overview of the instrumentation base for monitoring greenhouse gases

Elena A. Muravieva , Ekaterina S. Kulakova* 

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

* Corresponding author: e-mail: kulakova87@list.ru

ABSTRACT. Introduction. The article describes the results of a comparative analysis of three large companies presenting on the market close control equipment for the control of climatically important parameters: LI-COR, Picarro and Gasesera, and using nanotechnologies; the urgency of the ecological problem of finding a technical solution for the control of climatically active gases, including CO₂ in the atmospheric air, was studied. The aim of the work is to analyze the world leaders in the production of precision equipment for monitoring greenhouse gases in the manufacture of nanomaterials and in scientific centers for the study of climate change. **Methods and materials.** The study is based on the information from open information sources, materials and reviews of various fields of knowledge made by scientific researchers, who describe the features of the activities of these companies or are directly involved in product development, and then compile a report on their work. The article contains information from true sources, namely from the official websites of companies, which describes their history of creation and development process. Research methods are benchmarking and SWOT analysis. **Results and discussion.** The study carried out a comparative analysis of companies in terms of the duration of work in world markets and its impact on the quality and technical features of products. The article provides information about companies that have achieved very good results from the beginning of their foundation to the present. The species diversity of old and new generation quality control devices sold in markets around the world by the companies in question is the same, which leads to very high competition. A description of the companies' operations, their location, coverage of consumers is given, as well as the annual income from the sale of products, the amount of work that they do in the course of their activities. **Conclusion.** It was revealed that the companies LI-COR, Picarro, Gasesera carry out the production of quality control devices that reproduce the required measurement parameters. Gas-analyzers of the companies are in demand in the market of precision control devices used to capture greenhouse gases in order to develop building nanomaterials, scientific research on the climate problems of modern society.

ACKNOWLEDGEMENT. The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education within the framework of the creation and operation of a carbon landfill on the territory of the Republic of Bashkortostan "Eurasian carbon landfill".

KEY WORDS: climate, greenhouse gas, control devices, benchmarking, nanomaterial.

FOR CITATION: Muravieva E.A., Kulakova E.S. Overview of the instrumental base for the control of greenhouse gases. *Nanotechnologies in construction*. 2022. V. 14, No. 1. P. 62–69. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-62-69>.

INTRODUCTION

The climate agenda is one of the global tasks of leading environmental organizations. The climate pact was signed in 1995 in Kyoto, where a decision was made on the need to reduce emissions of greenhouse gases, including CO₂, from industrial sources, and a standard was set for their emissions [1].

One of the following climate agreements within the framework of the UN activities is an act signed in 2015 in Paris. According to this document, the countries that

signed it commit themselves to taking measures to reduce the concentration of CO₂ in the atmospheric air of the region. Also, within the framework of the Paris Agreement, the goal of the participating countries was set to develop measures on a regional scale to prevent the global air temperature from exceeding 1.5°C by 2100 [2].

The Glasgow climate pact 2021 set a goal for conference attendees to reduce carbon emissions to the lowest possible level. The participants of the conference committed themselves to abandon the use of coal, which cannot be used in carbon dioxide capture technology, in all in-

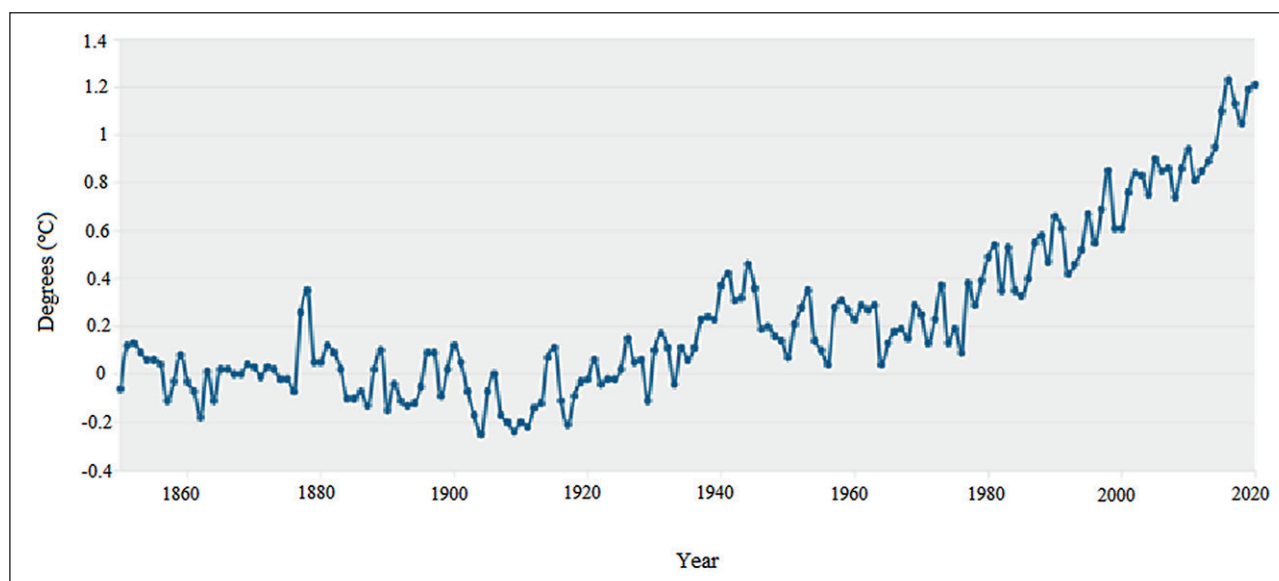


Fig. 1. Temperature difference from 1850 to 2020, according to the World Meteorological Organization

dustries. In addition, a number of countries, including the USA, have signed an agreement to reduce CH_4 emissions by 30% by the end of 2100. According to the UN climate report, for 2021 the air temperature has increased by 1.1°C compared to the beginning of the century (Figure 1) [3].

Thus, the global climate agenda is designed to solve the problem of global warming by 1.5°C by 2100. Efficiency in taking measures to reduce the concentration of greenhouse gases that trap solar radiation in the atmosphere is scientifically substantiated. First, the measures taken by world organizations to annually reduce the level of emissions of climate-active gases have led to a decrease in the growth of their concentration. This is due to the remote influence of emissions from the early industrial period. Secondly, an increase in the temperature of the earth's surface leads to tremendous changes in ecosystems. Thus, according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), by 2100 the level of the world ocean will rise by 0.2 m. Due to the increase in air temperature, processes continue to reduce the amount of ice in the oceans. Every year, the likelihood of extreme weather events increases. For example, in 2021, Hurricane Ida was the most powerful hurricane, which was assigned a fourth category of danger. Since 1980, 13 hurricanes of the fifth hazard category have occurred in the Atlantic Ocean (average wind speed is 270 km/h) [2].

According to UN conventions, the most common and longest lived greenhouse gas is carbon dioxide (CO_2). Its concentration in the atmospheric air is the highest among other greenhouse gases. According to the World Meteorological Organization, in 2019 its concentration reached 410 ppm and amounted to 148% of the pre-industrial period (1850–1900). In addition, over the past 25 years, the concentration of CO_2 has increased by 20%.

The next most common greenhouse gas in the atmosphere is methane. The lifetime of the gas in air is less than 10 years. As of 2019, its concentration in the air was 1877 ppb. According to the World Meteorological Organization, the concentration of methane has increased by 260% compared to the pre-industrial period (1850–1900). Over the past 25 years, the background concentration of methane in the atmospheric air has increased by 16% [3].

World climate organizations note the smallest increase in nitrous oxide (N_2O) in the atmospheric air. So, over the past 25 years, its content has grown by 9%. As of 2019, the concentration of gas in the air was 332 ppb, which is 123% higher compared to 1850–1900. Despite the low concentration in the atmosphere compared to carbon dioxide, nitrous oxide has a greater impact on the formation of the greenhouse effect. In addition, the lifetime of a gas molecule in air is about 150 years [3].

The climate problem poses scientific challenges for society related to the peculiarities of the behavior of climatically active gases, including CO_2 , in the atmospheric air, as well as the study of possible ways to reduce the concentration of greenhouse gases. A tool for determining the concentration of substances and solving environmental problems are systems for automated control of the content of substances in the air. To this date, pollutant control devices are installed in industrially loaded cities [1–2]. However, stations for monitoring the chemical composition of urban air with gas analyzers for carbon dioxide, methane, and nitrous oxide are not widely used. Thus, the development of an automated control system for greenhouse gases is one of the main tasks of scientific research in the framework of decarbonization projects.

The solution of the scientific problem of studying and analyzing the behavior of climatically active gases in atmospheric air is based on the influence of various factors on their momentary content. The main factors affecting the change in the concentration of gases in the air are meteorological conditions, such as air temperature and humidity, wind direction and speed. In addition, due to the deposition of carbon dioxide by plants, including trees, the gas concentration depends on vertical air currents. Thus, the system for monitoring the content of greenhouse gases, implemented to solve scientific problems, is a set of instruments, including sensors of meteorological parameters, high-precision gas analyzers based on nanotechnologies, anemometers, and other related equipment. It should be noted that the range of changes in the concentration of climatically active gases is small and is calculated in ppm (parts per million). Thus, gas concentration monitoring devices must have high accuracy in the required measurement range.

Currently, a promising area of industry is the use of greenhouse gases, namely CO₂, as a raw material for the production of nanomaterials used in various sectors of the economy, including construction.

METHODS AND MATERIALS

As research methods in this work, the basics of building automated process control systems (APCS) are used. APCS is based on the connection and coordination of greenhouse gas control devices and control systems (storage, processing, operations).

The choice of monitoring instruments is based on benchmarking and SWOT analysis of global manufacturers of precision greenhouse gas measuring instruments. The SWOT analysis methodology is based on the study of the strengths, weaknesses of gas analyzers of climatically active gases; studying the opportunities and threats of manufacturing companies. Benchmarking technology

allows you to evaluate the achievements of competing companies in order to implement successful practices in your own production.

The initial data were official sources and reporting of the activities of the companies LI-COR, Picarro, Gasera.

RESULTS AND DISCUSSION

A scheme of the organizational structure for solving a scientific problem has been developed (Fig. 2). The scheme clearly shows that the success of the work of the scientific team is laid at the initial stage of the development of the control system.

In the modern market, devices for monitoring climatically active gases are represented by three companies: LI-COR, Picarro and Gasera. All of them are world leaders in the production and sales of devices for controlling gases in atmospheric air based on nanotechnologies.

As a result, may be said that the accuracy of measurements of greenhouse gas concentrations around the world depends on the result of the work of the teams of the considered companies, since they produce products that make it possible to measure, calculate and prevent the threat associated with changes in global indicators of the current climate situation.

Touching upon the topic of nanotechnologies, today nanomaterials and nanotechnologies are used in almost all areas of the national economy and the environment as a whole. The use of nanopreparations as microfertilizers for the scientific tasks of crop production is due to an increase in the resistance of crops to unfavorable weather conditions and an increase in crop productivity (on average, by 1.5–2 times). Most food (potatoes, cereals, vegetables, fruits and berries) and industrial (cotton, flax) crops are used as objects of study.

The obtained results of the study are the basis for the creation of instruments for measuring the parameters of the soil cover and other environmental components [4]

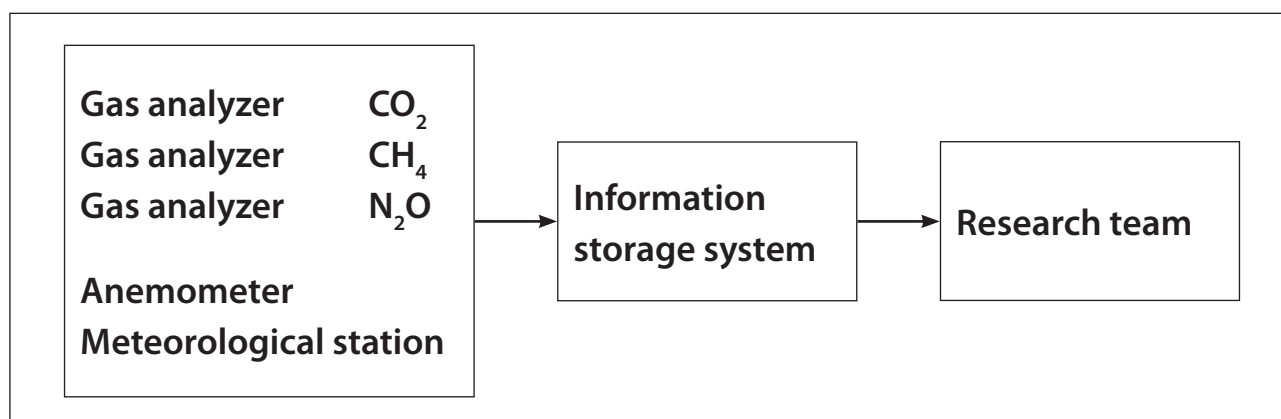


Fig. 2. Scheme of the organizational structure for solving a scientific problem

in the companies LI-COR, Gasera. Sensors allow you to measure the parameters of the environment to obtain data on its current state.

Technologies have been developed for the use of carbon dioxide as a raw material for the production of cement. In 2008, in the state of California (USA), Calera developed a technology for capturing and processing CO₂ into a target product. Namely, concrete, cement used in construction technologies were obtained. Similar developments were obtained at CarbonCure Technologies, America's Carbon Sciences.

Japanese scientists have developed a way to process CO₂ into nano-organic scaffolds used in various fields of the economy. The basis of the methodology is the capture of carbon dioxide from atmospheric air and concrete production waste. The basic component of the developed methodology for the production of nanomaterials for construction companies is the registration of CO₂ in the air. Thus, the choice of quality control instruments is an important step in the process of atmospheric gas processing.

LI-COR. LI-COR head office is situated in North Carolina, USA, with a very strong influence in the North American mainland. The type of company is private, because the founder of the company himself, using personal efforts and means, developed it into a world famous company. The company has been operating for 50 years, and during this period it has expanded its consumer zone to a large scale, so the company's annual income reaches up to €14 million. Products manufactured by a given company, are introduced by devices, measuring systems and software for use in biological research instruments. They are used in such areas as agronomy, ecology, plant physiology, the study of the carbon cycle of climate change. Score in the rating Expertology, the company received a rating of 9.2, which is one of the highest ratings in the rating of companies manufacturing products of this type.

The company produces portable process analysis systems such as: LI-6800, LI-600, LI-7000, LI-7200, LI-7500, LI-7550, LI-7700, LI-7810, LI-8100, Pearl thermal imager. They are compact, high-precision, high-performance analyzers that can be used in the most unfavorable weather conditions, including rain, snow and fog. These devices are characterized by low power consumption, due to which they can be used in the field without access to stationary AC power networks (power can be supplied from a solar battery).

LI-COR gas analyzers, similar to other companies' precision monitors, have high measurement accuracy and can be used under unfavorable weather conditions.

A distinctive feature of the LI-COR instruments is the use of infrared spectroscopy technology, which allows density measurements using infrared rays.

These devices are currently used in almost all countries of the Eurasian continent, as well as in North and South America, as well as in the research laboratories of

JCS SERVICES, Ormic, PolutionS.r.l., Armgate SIA, Armgate UAB, The Dutch Scientist, ISOscience, Apel, MIT, KNJ, Amiston, Massanalys Spectrometry Nordic AB.

The strengths of this company are that it was founded long before Picarro and Gasera. LI-COR has established itself over the course of its existence as a company with reliable, high-quality measurement products, which gives it an edge over other, less well-known competitors that were founded a little later. Also, the company annually produces a large number of units of products, due to which, the company feels confident in the competition in the market, as they have a wide range of consumers.

The weak side of this company is that they have now stopped producing new generation products, which allows new young companies to gain a competitive advantage due to the presence of innovative products.

The company has the opportunity to improve skills and increase benefits for employees, thereby improving their performance and the desire to work at 100%. The company offers health and wellness benefits, including health insurance, dental insurance and vision insurance, to make life easier for employees and give them confidence in their future. This also applies to advanced training, positions, depending on the volume and quality of the employee's work, which does not depend on the time spent in the company.

Since the company occupies one of the first places in the ranking of companies for the production of these products, the threat is that a number of competitors have a desire to bypass it and get higher positions in the ranking.

Picarro. The company's head office is located in California, USA. The type of company is private, its founder is a scientific researcher.

The company produces gas analyzers of models such as: G2103, G2106, G2108, G2114, G2121, G2121-i for accurate real-time measurement of ethylene vapor, water and other substances with sensitivity to parts per billion with negligible drift for agricultural and soil science applications, which is distinguishing feature of Picarro control devices from sensors of other companies.

Picarro gas analyzers are currently used in such countries as: USA, England, France, Poland, Italy, in research laboratories Sumasi, ISOscience, Bizaio, AlphaChrom, HILGER, SISTEC.

Over the 23 years of its existence, the company has managed to cover the western and eastern hemispheres, and the geography of consumers covers the entire globe, while the company's income is €6.5 million, which is very worthy compared to other similar companies. This company produces gas concentration analyzers, with a volume of up to 35 million units per year, which are used in such areas as ecology, plant physiology, measurement of gas emissions in the air, leak detection for manufacturing

Table

Comparative analysis of the activities of companies producing greenhouse gas monitoring devices

Показатели	LICOR	Picarro	Gasera
1. Head office	Lincoln, North Carolina, USA	California, USA	Turku, Finland
2. Type of company	Private	Private	Limited Liability Company
3. Average income	€14 млн	€6,5 млн	€2,5 млн
4. Scope	Western and Eastern Hemisphere	Western and Eastern Hemisphere	Western and Eastern Hemisphere
5. Duration	50 years	23 years	17 years
6. Geography of consumers	The whole globe	The whole globe	Europe, West and East Asia, North America
7. Production	Instruments, measuring systems and software for biological research	Gas concentration analyzers	Portable measuring devices, gas analyzers
8. Quantity of work	Up to 80 million pieces of equipment per year	Up to 35 million pieces of equipment per year	Up to 10 million pieces of equipment per year
9. Application area	Agronomy, ecology, plant physiology, carbon cycle research and climate change	Ecology, plant physiology, measurement of air emissions, leak detection for commercial enterprises	Ecology, geology, photoacoustics, analysis of gases, liquids and solids, industrial research
10. Rating	9.2	8.5	8.1
11. Quality control test (QCT)	100%	100%	100%
12. Industry	Research, design, production	Research, industrial products	Manufacture of instruments and devices for measurement, testing and navigation
13. Influence	The whole globe	The whole globe	The whole globe
14. Peak demand	From 2010 up to the present day	From 2015 up to the present day	From 2018 up to the present day
15. Year of foundation	1971	1997	2004

enterprises. The rating of this company is 8.5, this figure is very worthy and justified.

The strength of the company is that it is relatively young and well-established in a fairly short period of its existence. Picarro manufactures water and N_2O isotopic analyzers, ^{13}C isotope composition systems, which is a feature among its other competitors in this field.

The weakness of the company is that it produces a rather small range of products, which significantly affects the sales market, when compared with companies that have a wider range of products.

The capabilities of this company lie in the fact that it is located directly in California, the USA state, not far from the center of all sales of other top-rated companies in demand. This gives it the opportunity to save time on the delivery of its products to consumers. Picarro also

has the opportunity to improve the skills of employees for positions related to engineering. The development of new competencies by employees will increase the speed of intensive and financial development of the company. Also for their employees, they provide an opportunity for early retirement through the benefits of this company.

The threat is that the company produces a small range of products. This affects the sales market due to a small selection of measuring instruments. Thus, at the moment it is impossible to compete with higher and more developed companies of this type of production.

Gasera. The head office of the company is located in Turku, Finland. The type of company is a limited liability company, which distinguishes it from other similar companies, because its founder is a group of people.

The company produces gas analyzers of the following models: Gasera ONE HF, Gasera ONE GHG, Gasera ONE PULSE, Gasera ONE SHED, Gasera ONE FORMALDEHYDE, Gasera OEM MODULE, Multipoint Sampler, Gasera ONE. They are photoacoustic gas analyzers that provide ppb sensitivity for reliable measurement of background levels of greenhouse gases, monitoring of hydrogen fluoride concentrations, and measurement of background levels of formaldehyde in various environmental components.

The difference between Gasera control devices and other companies is that their principle of operation is based on photoacoustic technology using tunable laser radiation.

Basically, these devices are used in the countries of Northern Europe, such as Iceland, Denmark, Sweden, Norway, Finland, Latvia, Lithuania, in the countries of Western and Eastern Asia, in the following research laboratories: Nofima, Bruker, Woods Hole Oceanographic, Fraunhofer, Leeden NOX.

Gasera is the youngest company compared to the other two described above. In this regard, the consumers of its products are mainly companies from Europe, Western and Eastern Asia and North America. But at the same time, over the 17 years of its existence, the company has raised its income to €2.5 million, which is quite a significant amount for a young company. Products supplied by Gasera are portable measuring devices and gas analyzers. The volume of sales of measuring instruments is 10 million units per year.

The scope of the company's products has been noted in such types of research as ecology, geology, photoacoustics, in the analysis of gases, liquids and solid materials, as well as in industrial research. The company's rating is 8.1, which is a decent rating for the short period of the company's existence, against the background of older companies.

The strength of the company is that it is a new generation company that was founded several years ago and at the same time has a good reputation in the market, as the quality of its products is on par with other higher-rated companies.

The weak side of the company is that it was founded 17 years ago and the peak of demand for the company began only in 2018. Gasera is little known on the market due to the small volume of products produced. Thus, the

company's coverage of world markets, in comparison with other companies producing products of this type, is still insignificant. However, despite the limited number of consumers, the company's devices have positive reviews and recommendations.

Due to the fact that the company is located in the eastern hemisphere of the globe, it has the ability, compared to others, to create a large consumer reach for itself in this region. The company is geographically located in a very favorable country for living conditions, which gives them the opportunity to hire highly qualified specialists for themselves.

Due to the fact that Gasera is little known in the world market, strong companies that were founded decades ago and have proven themselves have the opportunity to crowd out and influence its sales volume. This is the main threat for this company.

Benchmarking of the world's best practices for the presentation of gas analyzers on the markets was carried out. The results of the analysis are presented in table.

CONCLUSION

LI-COR, Picarro, Gasera are world leaders in the production and sale of precision measuring instruments. However, LI-COR and Picarro, companies that were founded earlier than Gasera, have been able to establish themselves as reliable manufacturers throughout their life on the world market. They are the most successful and in demand. If the scientific potential of each of the companies under consideration is not updated on the basis of innovative developments in the near future, then potential consumers will switch to companies that produce products that meet the tasks set by society.

A comparative analysis of large companies producing high-precision control devices showed that despite the differences in the range, principle of operation of the equipment produced, geographical coverage, age, all of them are manufacturers in demand on the market. Thus, the products manufactured by LI-COR, Picarro, Gasera reproduce the measurement parameters required for solving scientific problems of developing nanomaterials based on the capture of atmospheric carbon dioxide, the development of the instrumental base of new generation carbon polygons.

REFERENCES

1. Nikoláeva L.B. (2018) Latin American economy in the face of climate changes. New priorities, *Iberoamerica*. 2018; 2018 (4): 5–26.
2. Nikolaeva L.B. Paris consensus and environmental policy change, *Iberoamerica*. 2020; (3): 50–71. DOI: [10.37656/s20768400-2020-3-03](https://doi.org/10.37656/s20768400-2020-3-03).

3. Martynov B., Borzova A., Nekrasov B. Amazon cooperation treaty organization in the context of sustainable development goals, *Mezhdunarodnye Protessy*. 2018; 18(4): 107–126. DOI: 10.17994/IT.2020.18.4.63.3.
4. Srisakda N., Sumitsawan P., Fukuda A., Ishizaka T.b, Sangsrichan C. Reduction of vehicle fuel consumption from adjustment of cycle length at a signalized intersection and promotional use of environmentally friendly vehicles, *Engineering and Applied Science Research*. 2022; 49 (1): 18–28. DOI: 10.14456/easr.2022.2.
5. Wang J., Gui H., Yang Z., Yu T., Zhang X., Liu J. Real-world gaseous emission characteristics of natural gas heavy-duty sanitation trucks, *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2022; 115: 319–329. DOI: 10.1016/j.jes.2021.06.023.
6. Borghesi G., Stefanini R., Vignali G. Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios, *Journal of Food Engineering*. 2022; 318: 110902. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110902.
7. Han X., Feng F., Yan M., Cong Z., Liu S., Zhang Y. CO₂–water–rock reaction transport via simulation study of nanoparticles–CO₂ flooding and storage, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022; 50: 101736. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101736.
8. Morselli N., Puglia M., Pedrazzi S., Muscio A., Tartarini P. Energy, environmental and feasibility evaluation of tractor-mounted biomass gasifier for flame weeding, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022; 50: 101823. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101823.
9. Kulakova, E.S., Safarov, A.M., Kantor, E.A., Safarov, M.A., Malkova, M.A. The influence of the wind regime on the methanol concentration change in the atmospheric air of the city residential area *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 723(4), 042048.
10. Kulakova, E.S., Safarov, A.M., Safarova, V.I., Malkova, M.A., Kantor, E.A. Phenol monitoring in the air of the city residential part *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 579(1), 012102.
11. Muravyova E.A., Popkov V.V. Development and Research of a Dynamic Flow Laboratory Bench Model. In: *Proceedings of the 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS)*. Ufa; 2019. p. 177–122.
12. Belousova E.S., Nasonova N. V., Lynkov L. M. et al. Fire-resistant shielding coating based on shungite-containing paint. *Nanotechnologies in Construction*. 2013; 5(4): 97–109.
13. Baikov I.R., Smorodova O.V., Trofimov A.Yu., Kuznetsova E.V. Experimental study of heat-insulating nanomaterials based on airtels. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(4): 462–477. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-462-477.
14. Kiyamov I.K., Vakhitova R.I., Saracheva D.A. et al. Study of the properties of nanomaterials. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(2): 65–70. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-65-70.
15. Zaki S.I., Hossam A.H., Mostafa A.M.. The effect of using hybrid nanomaterials on drying shrinkage and strength of cement pastes. *Nanotechnologies in Construction*. 2016; 8(2): 109–134. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-2-109-134.
16. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Buyantuev S.L., Kuznetsova A.Yu. On the influence of carbon nanomaterials on the properties of cement and concrete. *Nanotechnologies in Construction*. 2016; 8(5): 16–41. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-16-41.
17. Ivanov L.A., Sui L.D., Razumeev K.E. et al. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the field of nanotechnology. Part VI. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(6): 370–378. DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378.
18. Nevedrov N.P., Sarzhanov D.A., Protsenko E.P., Vasenev I.I. Seasonal dynamics of CO₂ emission from the soils of the city of Kursk. *Pochvovedeniye*. 2021; 1: 70–79. DOI: 10.31857/S0032180X21010111.
19. Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I. Methodology for creating and studying units for adsorption separation and purification of gas mixtures. *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021; 6(3): 179–203. DOI: 10.17277/jamt.2021.03.pp.179-203.
20. Khafizov R.N., Khaliullin F.Kh., Khafizov K.A. et al. Ways to reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere during production processes in crop production. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; 16 (63): 38–42. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-38-42.
21. Chainikov D., Chikishev E., Anisimov I., Gavaev A. Influence of ambient temperature on the CO₂ emitted with exhaust gases of gasoline vehicles. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: electronic edition, 19–21 May 2016, Yurga, Russian Federation. National Research Tomsk Polytechnic University*. Yurga: IOP Publishing Ltd; 2016. p. 12109. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012109.
22. Hristov H., Bakalov I., Shopov B., Yovkov D. Modeling of the Dependence of CO₂ Contained in the Exhaust Gases on the Amount of Hydrogen Gas Supplied to the Engine. *Pedagogy*. 2021; 93(S6): 217–223. DOI: 10.53656/ped21-6s.19mod.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Muravieva – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Researcher at the Laboratory for Monitoring Climate Change and Carbon Balance of Ecosystems of the USPTU, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Russia, muraveva_ea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7118-5570>

Ekaterina S. Kulakova – Cand. Sci. (Eng.), Researcher at the Laboratory for Monitoring Climate Change and Carbon Balance of Ecosystems of the USPTU, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Russia, kulakova87@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3655-027X>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Muravieva E.A. – the author's personal contribution is the scientific editing of the article and the preparation of the publication, conducting a comparative analysis.

Kulakova E.S. – the author's personal contribution consists in suggesting an idea, collecting and processing material, and developing research results.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 29.12.2021; approved after reviewing 26.01.2022; accepted for publication 04.02.2022.

Обзорная статья

УДК 543.27.08.068.2

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-62-69>

CC BY 4.0

Обзор приборной базы по контролю парниковых газов

Елена Александровна Муравьева , Екатерина Сергеевна Кулакова* 

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: kulakova87@list.ru

АННОТАЦИЯ. Введение. В статье описаны результаты сравнительного анализа трех крупных компаний, представляющих на рынке высокоточное оборудование по контролю климатически важных параметров: LI-COR, Picarro и Gasera – и использующих нанотехнологии; исследована актуальность экологической проблемы поиска технического решения контроля климатически активных газов, в том числе CO₂ в атмосферном воздухе. Целью работы является анализ мировых лидеров по производству прецизионного оборудования контроля парниковых газов при изготовлении наноматериалов и в научных центрах по исследованию изменения климата. **Методы и материалы.** Для исследования использована информация из открытых информационных источников, материалов и обзоров научных исследователей различных областей знаний, которые описывают особенности деятельности этих компаний или же непосредственно принимают участие в разработке продукции и после чего составляют отчет о своей работе. Статья содержит информацию из истинных источников, а именно с официальных сайтов компаний, где описана их история создания и процесс развития. Методами исследования являются бенчмаркинг и SWOT-анализ. **Результаты и обсуждение.** В исследовании проведен сравнительный анализ компаний по продолжительности работы на мировых рынках и его влияния на качество и технические особенности выпускаемой продукции. В статье представлена информация о компаниях, которые добились очень хороших результатов за период с начала их основания до настоящего времени. Видовое разнообразие приборов контроля качества старого и нового поколения, реализуемых на рынках по всему миру, рассматриваемых компаний, одинаковое, что обуславливает очень высокую конкуренцию. Проведено описание деятельности компаний, их местоположения, охват потребителей, также указан годовой доход от продажи продукции, объем работы, который они совершают в процессе своей деятельности. **Заключение.** Выявлено, что компании LI-COR, Picarro, Gasera осуществляют производство приборов контроля качества, которые воспроизводят требуемые измерительные параметры. Газоанализаторы компаний являются востребованными на рынке прецизионных приборов контроля, применяемых для улавливания парниковых газов с целью разработки строительных наноматериалов, научных исследований климатических проблем современного общества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: климат, парниковый газ, приборы контроля, бенчмаркинг, наноматериал.

БЛАГОДАРНОСТЬ. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Муравьева Е.А., Кулакова Е.С. Обзор приборной базы по контролю парниковых газов // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 62–69. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-62-69>.

ВВЕДЕНИЕ

Климатическая повестка является одной из мировых задач ведущих экологических организаций. Климатический пакт заключен в 1995 г. в г. Киото, где было принято решение о необходимости снижения выбросов парниковых газов, в том числе CO₂, промышленными источниками, а также был установлен норматив по объемам их выбросов [1].

Одним из следующих климатических соглашений в рамках деятельности ООН является акт, подпи-

санный в 2015 году в г. Париже. Согласно данному документу, страны, подписавшие его, накладывают на себя обязательства по принятию мер по снижению концентрации CO₂ в атмосферном воздухе региона. Также в рамках Парижского соглашения была установлена цель стран-участников по разработке мероприятий регионального масштаба по недопущению превышения глобальной температуры атмосферного воздуха к 2100 году более, чем не 1,5°C [2].

Климатический пакт по климату 2021 г. в г. Глазго поставил целью для участников конференции сни-

зить выброс углерода в атмосферу до самого низкого показателя. Участники конференции приняли на себя обязательство отказаться от применения угля, который не может быть использован в технологии улавливания углекислого газа, во всех отраслях промышленности. Кроме того, ряд стран, в том числе США, подписали соглашение о снижении выбросов CH_4 на 30% к концу 2100 года. Согласно отчету ООН по проблемам климата, на 2021 год температура воздуха по сравнению с началом века выросла на $1,1^\circ\text{C}$ (рис. 1) [3].

Таким образом, мировая климатическая повестка призвана решить проблему глобального потепления на $1,5^\circ\text{C}$ к 2100 году. Оперативность принятия мер по снижению концентрации парниковых газов, задерживающих солнечную радиацию в атмосфере, является научно обоснованной. Во-первых, принятые мировыми организациями меры по ежегодному снижению уровня выброса климатически активных газов, привели к снижению роста их концентрации. Это обусловлено отдаленным влиянием выбросов раннего индустриального периода. Во-вторых, увеличение температуры земной поверхности ведет к колоссальным изменениям в экосистемах. Так, согласно межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК), к 2100 г. уровень мирового океана повысится на 0,2 м. Вследствие повышения температуры воздуха продолжаются процессы, способствующие уменьшению количества льдов в Мировом океане. С каждым годом повышается вероятность возникновения экстремальных погодных явлений. Например, в 2021 году самым сильным являлся ураган Ида, которому присвоена

четвертая категория опасности. С 1980 г. на территории Атлантического океана произошло 13 ураганов пятой категории опасности (средняя скорость ветра составляет 270 км/ч) [2].

В соответствии с конвенциями ООН, самым распространенным и долгоживущим парниковым газом является диоксид углерода (CO_2). Его концентрация в атмосферном воздухе является наибольшей среди других парниковых газов. Согласно данным Всемирной метеорологической организации, в 2019 году его концентрация достигла 410 ppm и составила 148% от доиндустриального периода (1850–1900 гг.). Кроме того, за последние 25 лет концентрация CO_2 выросла на 20%.

Следующим по распространенности парниковым газом в атмосферном воздухе является метан. Время жизни газа в воздухе составляет менее 10 лет. По состоянию на 2019 г. его концентрация в воздухе составила 1877 ppb. Согласно данным Всемирной метеорологической организации, концентрация метана возросла на 260 % по сравнению с доиндустриальным периодом (1850–1900 гг.). За последние 25 лет фоновая концентрация метана в атмосферном воздухе возросла на 16 % [3].

Мировые климатические организации отмечают наименьший прирост в атмосферном воздухе закиси азота (N_2O). Так, за последние 25 лет его содержание выросло на 9 %. По данным на 2019 г., концентрация газа в воздухе составила 332 ppb, что на 123% выше по сравнению с 1850–1900 гг. Несмотря на низкую концентрацию в атмосфере по сравнению с углекислым газом, закись азота в большей степени оказывает влияние на образование парникового эффекта.

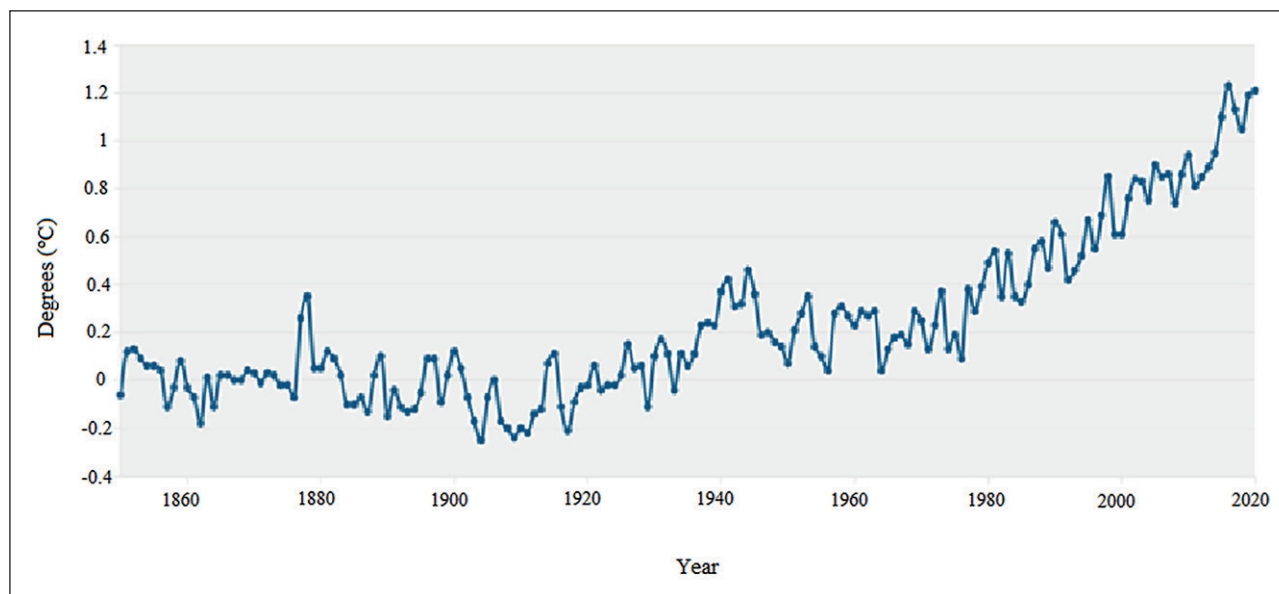


Рис. 1. Разница температур с 1850 по 2020 год, по данным Всемирной метеорологической организации

Кроме того, время жизни молекулы газа в воздухе составляет около 150 лет [3].

Климатическая проблема ставит перед обществом научные задачи, связанные с особенностью поведения климатически активных газов, в том числе CO_2 , в атмосферном воздухе, а также изучением возможных способов снижения концентрации парниковых газов. Инструментом определения концентрации веществ и решения экологических задач являются системы автоматизированного контроля содержания веществ в воздухе. На сегодняшний день приборы контроля загрязняющих веществ устанавливаются в техногенно нагруженных городах [1–2]. Однако станции контроля химического состава воздуха городов, имеющие газоанализаторы углекислого газа, метана, закиси азота, не имеют широкого распространения. Таким образом, разработка системы автоматизированного контроля парниковых газов является одной из основных задач научных исследований в рамках проектов декарбонизации.

Решение научной задачи изучения и анализа поведения климатически активных газов в атмосферном воздухе основано на влиянии различных факторов на их моментное содержание. Основными причинами, влияющими на изменение концентрации газов в воздухе, являются метеорологические условия, такие как, температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра. Кроме того, вследствие депонирования диоксида углерода растениями, в том числе деревьями, концентрация газа зависит от вертикальных потоков воздуха. Таким образом, система контроля содержания парниковых газов, реализуемая с целью решения научных задач, представляет собой комплекс приборов, включающих датчики метеорологических параметров, газоанализаторы высокой точности на основе нанотехнологий, анемометры, а также иное сопутствующее оборудование. Следует заметить, что диапазон изменения концентрации климатически активных газов мал и исчисляется в ppm (parts per million – «частей на миллион»). Таким образом, приборы контроля концентрации газов должны иметь высокую точность в требуемом диапазоне измерения.

В настоящее время перспективным направлением промышленности является применение парниковых газов, а именно CO_2 в качестве сырья для производства наноматериалов, применяемых в различных отраслях экономики, в том числе и в строительстве.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве методов исследования в данной работе использованы основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). АСУТП основано на подключении

и согласовании приборов контроля парниковых газов и управляющих устройств (хранения, обработки, выполнения операций).

Выбор приборов контроля основан на бенчмаркинге и SWOT-анализе мировых производителей прецизионных средств измерений парниковых газов. Методология SWOT-анализа основана на исследовании сильных, слабых сторон газоанализаторов климатически активных газов; изучении возможностей и угроз компаний-производителей. Технология бенчмаркинга позволяет оценить достижения компаний-конкурентов с целью внедрения успешных практик в собственном производстве.

Исходными данными послужили официальные источники и отчетности деятельности фирм LI-COR, Picarro, Gaseira.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработана схема организационной структуры решения научной проблемы (рис. 2). Из схемы наглядно видно, что успех работы научного коллектива закладывается на начальном этапе разработки системы контроля.

На современном рынке приборы контроля климатически активных газов представлены тремя фирмами: LI-COR, Picarro и Gaseira. Все они являются мировыми лидерами по выпуску и продажам приборов контроля газов в атмосферном воздухе на основе нанотехнологий.

В результате можно сказать, что от результата работы коллективов рассматриваемых компаний зависит точность измерений концентраций парниковых газов во всем мире, так как они производят продукцию, позволяющую измерить, вычислить и предотвратить угрозу, связанную с изменением мировых показателей текущей климатической ситуации.

Затрагивая тему нанотехнологий, на сегодняшний день наноматериалы и нанотехнологии находят применение практически во всех областях народного хозяйства и окружающей среды в целом. Применение нанопрепаратов в качестве микроудобрений для научных задач растениеводства обусловлено повышением устойчивости культур к неблагоприятным погодным условиям и увеличению урожайности (в среднем в 1,5–2 раза). В качестве объектов исследования используется большинство продовольственных (картофель, зерновые, овощные и плодово-ягодные) и технических (хлопок, лен) культур.

Полученные результаты исследования являются основой для создания приборов измерения параметров почвенного покрова и других компонентов окружающей среды [4] в компаниях LI-COR, Gaseira. Датчики позволяют измерять параметры окружаю-

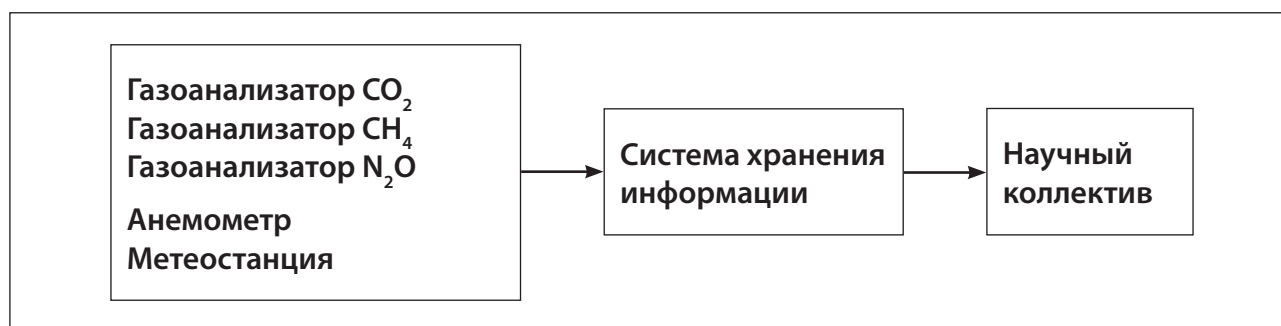


Рис. 2. Схема организационной структуры решения научной задачи

щей среды для получения данных о ее текущем состоянии.

Разработаны технологии по применению и использованию углекислого газа в качестве сырья для производства цемента. В 2008 г. в штате Калифорния (США) компанией Calera разработана технология улавливания и переработки CO_2 в целевой продукт. А именно получены бетон, цемент, используемые в технологиях строительства. Аналогичные разработки получены в Carbon Cure Technologies, America's Carbon Sciences.

Японские ученые разработали способ переработки CO_2 в наноорганические каркасы, используемые в различных областях экономики. Основой методологии является улавливание диоксида углерода из атмосферного воздуха и отходов производства бетона. Базовым компонентом разработанной методологии производства наноматериалов для строительных компаний является регистрация CO_2 в воздухе. Таким образом, выбор приборов контроля качества является важным этапом процесса переработки атмосферного газа.

LI-COR. Головной офис компании LI-COR находится в штате Северная Каролина, США, имея очень большое влияние на материке Северная Америка. Тип компании — частная, т.к. основатель компании сам, используя личные усилия и средства, развил ее до всемирно известной компании. Срок деятельности компании — 50 лет, и за этот период она расширила зону своих потребителей до больших масштабов, поэтому ежегодный доход компании достигает € 14 млн. Продукция, которую выпускает данная компания, представлена приборами, измерительными системами и программным обеспечением для биологических исследований. Они используются в таких областях, как агрономия, экология, физиология растений, исследование углеродного цикла изменения климата. Оценка в рейтинге Expertology: данная компания получила рейтинг 9,2, что является одной из самых высших оценок в рейтинге компаний по производству продукции данного типа.

Компания производит портативные системы анализа процессов, такие как: LI-6800, LI-600, LI-7000,

LI-7200, LI-7500, LI-7550, LI-7700, LI-7810, LI-8100, тепловизор Pearl. Они представляют собой компактные, высокоточные высокопроизводительные анализаторы, которые могут применяться в самых неблагоприятных погодных условиях, включая дождь, снег и туман. Эти приборы характеризуются малым энергопотреблением, благодаря чему могут применяться в полевых условиях без доступа к стационарным электросетям переменного тока (питание может осуществляться от солнечной батареи).

Газоанализаторы LI-COR, аналогично прецизионным приборам контроля других компаний, имеют высокую точность измерения и могут быть использованы при неблагоприятных погодных условиях.

Отличительной особенностью приборов LI-COR является использование технологии инфракрасной спектроскопии, что позволяет проводить измерения плотности с помощью инфракрасных лучей.

Данные приборы в настоящее время используются практически во всех странах материка Евразия, а также в Северной и Южной Америке и в исследовательских лабораториях JCS SERVICES, Ormic, Polution S.r.l., Armgate SIA, Armgate UAB, The Dutch Scientist, ISO science, Apel, MIT, KNJ, Amiston, Massanalys Spectrometry Nordic AB.

Сильные стороны данной компании в том, что она была основана задолго до Picarro и Gasera. LI-COR за время своего существования зарекомендовала себя как компания с надежной, высококачественной измерительной продукцией, что дает ей преимущество среди других, не таких широко известных конкурентов, которые были основаны немного позже. Также компания ежегодно выпускает большое количество единиц продукции, за счет чего компания чувствует себя уверенно в конкурентной борьбе на рынке, так как она имеет обширный круг потребителей.

Слабой стороной данной компании является то, что она в настоящее время перестала выпускать продукцию нового поколения, что позволяет новым молодым компаниям получить конкурентное преимущество благодаря наличию инновационных продуктов.

Компания имеет возможность повышения квалификации и увеличения преимуществ для сотрудников, тем самым улучшая их работоспособность и стремление работать на все 100%. Компания предлагает льготы, направленные на поддержание здоровья и хорошего самочувствия, включая медицинское страхование, стоматологическое страхование и страхование зрения, чтобы упростить жизнь работников и обеспечить их уверенность в своем будущем. Это также касается повышения квалификации, должности в зависимости от объема и качества работы сотрудника, которое не зависит от времени, проведенного в компании.

Так как компания занимает одно из первых мест в рейтинге компаний по производству данной продукции, то угрозой является то, что у целого ряда конкурентов есть стремление обойти ее и получить более высокие позиции в рейтинге.

Picarro. Головной офис компании находится в Калифорнии, США. Тип компании — частный, основателем ее является ученый исследователь.

Компания производит газоанализаторы таких моделей, как: G2103, G2106, G2108, G2114, G2121, G2121-i — для точного измерения в реальном времени паров этилена, воды и других веществ с чувствительностью до миллиардных долей с незначительным дрейфом для приложений сельского хозяйства и почвоведения, что является отличительной особенностью приборов контроля компании Picarro от датчиков других компаний.

Газоанализаторы Picarro в настоящее время используются в таких странах, как: США, Англия, Франция, Польша, Италия, в исследовательских лабораториях Sumasi, ISO science, Bizaio, Alpha Chrom, HILGER, SISTEC.

За 23 года существования компания успела охватить западное и восточное полушария, а география потребителей охватывает весь земной шар, при этом доход компании составляет € 6,5 млн, что является очень достойным на фоне других аналогичных компаний. Данная компания производит анализаторы концентрации газов, в объеме до 35 млн единиц в год, которые применяют в таких областях, как экология, физиология растений, измерения выбросов газов в воздухе, обнаружение утечек для производственных предприятий. Рейтинг этой компании — 8,5, этот показатель является весьма достойным и оправданным.

Сильной стороной компании является то, что она относительно молодая и хорошо зарекомендовавшая себя за достаточно непродолжительный период своего существования. Picarro выпускает анализаторы изотопного состава воды и N_2O , системы изотопного состава ^{13}C , что является особенностью среди других ее конкурентов в данной сфере.

Слабая сторона компании состоит в том, что она выпускает довольно небольшой ассортимент продукции, что ощутимо сказывается на рынке продаж, в сравнении с компаниями, имеющими более широкий ассортимент выпускаемой продукции.

Возможности этой компании заключаются в том, что она находится непосредственно в Калифорнии, штате США, неподалеку от центра всех продаж остальных рейтинговых востребованных компаний. Это дает ей возможность экономии времени на поставку своей продукции потребителям. Также Picarro имеет возможность повышения квалификации сотрудников для позиций, связанных с инженерией. Освоение работниками новых компетенций позволит повысить скорость интенсивного и финансового развития компании. Также для своих сотрудников они предоставляют возможность для раннего выхода на пенсию за счет пособий данной компании.

Угрозы в том, что компания выпускает небольшой ассортимент продукции. Это сказывается на рынке продаж вследствие небольшого выбора приборов измерения. Таким образом, на данный момент конкурировать с более высокими и развитыми компаниями данного типа производства невозможно.

Gasera. Головной офис компании находится в г. Турку, Финляндия. Тип компании — общество с ограниченной ответственностью, что отличает ее от других аналогичных компаний, т.к. основателем ее является группа людей.

Компания производит газоанализаторы таких моделей: GaseraONE HF, GaseraONE GHG, GaseraONE PULSE, GaseraONE SHED, GaseraONE FORMALDEHYDE, GaseraOEM MODULE, Multipoint Sampler, GaseraONE. Они являются фотоакустическими газоанализаторами, которые обеспечивают чувствительность на уровне миллиардных долей для надежного измерения фоновых уровней парниковых газов, контроля концентрации фтористого водорода, измерения фоновых уровней формальдегида в различных компонентах окружающей среды.

Отличие приборов контроля Gasera от других компаний в том, что принцип их действия основан на фотоакустической технологии с использованием настраиваемого лазерного излучения.

В основном данные приборы используются в странах северной Европы, таких как Исландия, Дания, Швеция, Норвегия, Финляндия, Латвия, Литва, в странах западной и восточной Азии, в следующих исследовательских лабораториях: Nofima, Bruker, Woods Hole Oceanographic, Fraunhofer, Leeden NOX.

Gasera является самой молодой компанией по сравнению с двумя другими, описанными выше. В связи с этим, потребителями ее продукции являются

ся в основном компании из Европы, западной и восточной Азии и Северной Америки. Но при этом, за 17 лет существования компания подняла свой доход до € 2,5 млн, что является довольно значимой суммой для молодой компании. Продукция, которую поставляет Gasera, — это портативные измерительные устройства и газоанализаторы. Объем продаж средств измерения составляет 10 млн единиц в год.

Область применения продукции компании была отмечена в таких видах исследований, как экология, геология, фотоакустика, при анализе газов, жидкостей и твердых материалов, а также в промышленном исследовании. Рейтинг компании составляет 8,1, что является достойной оценкой за короткий период существования компании, на фоне с более «старыми» компаниями.

Сильная сторона компании в том, что она является компанией нового поколения, которая была основана несколько лет назад и при этом хорошо себя зарекомендовала на рынке, так как качество производимой ею продукции стоит на одном уровне с другими более высокорейтинговыми компаниями.

Слабая сторона компании состоит в том, что она была основана 17 лет назад, и пик востребованности компании начался только с 2018 года. Gasera на рынке является малоизвестной вследствие небольшого объема выпускаемой продукции. Таким образом, охват компанией мировых рынков, по сравнению с другими компаниями, производящими продукцию данного типа, пока незначителен. Однако, несмотря на ограниченность количества потребителей,

Таблица

Сравнительный анализ деятельности компаний по производству приборов контроля парниковых газов

Показатели	LICOR	Picarro	Gasera
1. Головной офис	Линкольн, штат Северная Каролина, США	Калифорния, США	Турку, Финляндия
2. Тип компании	Частная	Частная	Общество с ограниченной ответственностью
3. Средний доход	€ 14 млн	€ 6,5 млн	€ 2,5 млн
4. Охват	Западное и восточное полушарие	Западное и восточное полушарие	Западное и восточное полушарие
5. Срок деятельности	50 лет	23 года	17 лет
6. География потребителей	Весь земной шар	Весь земной шар	Европа, западная и восточная Азия, Северная Америка
7. Продукция	Инструменты, измерительные системы и ПО для биологических исследований	Анализаторы концентрации газа	Портативные измерительные устройства, газоанализаторы
8. Объем работы	До 80 млн единиц оборудования в год	До 35 млн. единиц оборудования в год	До 10 млн. единиц оборудования в год
9. Область применения	Агрономия, экология, физиология растений, исследование углеродного цикла и изменение климата	Экология, физиология растений, измерение выбросов газов в воздухе, обнаружение утечек для ком. предприятий	Экология, геология, фотоакустика, анализ газов, жидкостей и твердых материалов, промышленное исследование
10. Рейтинг	9,2	8,5	8,1
11. Контроль качества	100%	100%	100%
12. Промышленность	Исследование, дизайн, производство	Исследование, промышленные продукции	Производство инструментов и приборов для измерения, тестирования и навигации
13. Влияние	Весь земной шар	Весь земной шар	Весь земной шар
14. Пик востребованности	С 2010 года и по настоящее время	С 2015 года и по настоящее время	С 2018 года и по настоящее время
15. Год основания	1971 год	1997 год	2004 год

приборы компании имеют положительные отзывы и рекомендации.

Вследствие того, что компания находится в восточном полушарии земного шара, она имеет возможность по сравнению с другими создать для себя большой охват потребителей в этом регионе. Компания географически располагается в очень благоприятной стране для условий проживания, что дает возможность нанимать для себя высококвалифицированных специалистов.

Из-за того, что Gasera малоизвестна на мировом рынке, сильные компании, которые были основаны уже десятки лет назад и хорошо себя зарекомендовали, имеют возможность вытеснять и влиять на ее объем реализации. Это является основной угрозой для данной компании.

Проведен бенчмаркинг лучших практик мира по представлению газоанализаторов на рынках. Результаты анализа представлены в табл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

LI-COR, Picarro, Gasera являются мировыми лидерами по производству и реализации прецизионных

средств измерения. Однако LI-COR и Picarro – компании, которые были основаны раньше, чем Gasera, смогли за все время жизни на мировом рынке зарекомендовать себя как надежные производители. Они являются наиболее успешными и востребованными. В случае, если научный потенциал каждой из рассматриваемых компаний в ближайшем будущем не будет обновляться на основе инновационных разработок, то потенциальные потребители перейдут на компании, выпускающие продукцию, соответствующую поставленным обществом задачам.

Сравнительный анализ крупных компаний по производству высокоточных приборов контроля показал, что несмотря на различия в ассортименте, принципе действия выпускаемого оборудования, географическом охвате, возрасте, все они являются востребованными на рынке производителями. Таким образом, продукция, которую выпускают LI-COR, Picarro, Gasera, воспроизводит параметры измерения, требуемые для решения научных задач разработки наноматериалов на основе улавливания атмосферного диоксида углерода, развития приборной базы карбоновых полигонов нового поколения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nikoláeva L.B. (2018) Latin American economy in the face of climate changes. New priorities, *Iberoamerica*. 2018; 2018 (4): 5–26.
2. Nikolaeva L.B. Paris consensus and environmental policy change, *Iberoamerica*. 2020; (3): 50–71. DOI: [10.37656/s20768400-2020-3-03](https://doi.org/10.37656/s20768400-2020-3-03).
3. Martynov B., Borzova A., Nekrasov B. Amazon cooperation treaty organization in the context of sustainable development goals, *Mezhdunarodnye Protessy*. 2018; 18(4): 107–126. DOI: [10.17994/IT.2020.18.4.63.3](https://doi.org/10.17994/IT.2020.18.4.63.3).
4. Srisakda N., Sumitsawan P., Fukuda A., Ishizaka T.b, Sangsrichan C. Reduction of vehicle fuel consumption from adjustment of cycle length at a signalized intersection and promotional use of environmentally friendly vehicles, *Engineering and Applied Science Research*. 2022; 49 (1): 18–28. DOI: [10.14456/easr.2022.2](https://doi.org/10.14456/easr.2022.2).
5. Wang J., Gui H., Yang Z., Yu T., Zhang X., Liu J. Real-world gaseous emission characteristics of natural gas heavy-duty sanitation trucks, *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2022; 115: 319–329. DOI: [10.1016/j.jes.2021.06.023](https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.06.023).
6. Borghesi G., Stefanini R., Vignali G. Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios, *Journal of Food Engineering*. 2022; 318: 110902. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2021.110902](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110902).
7. Han X., Feng F., Yan M., Cong Z., Liu S., Zhang Y. CO₂–water–rock reaction transport via simulation study of nanoparticles-CO₂ flooding and storage, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022; 50: 101736. DOI: [10.1016/j.seta.2021.101736](https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101736).
8. Morselli N., Puglia M., Pedrazzi S., Muscio A., Tartarini P. Energy, environmental and feasibility evaluation of tractor-mounted biomass gasifier for flame weeding, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022; 50: 101823. DOI: [10.1016/j.seta.2021.101823](https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101823).
9. Kulakova, E.S., Safarov, A.M., Kantor, E.A., Safarov, M.A., Malkova, M.A. The influence of the wind regime on the methanol concentration change in the atmospheric air of the city residential area *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 723(4), 042048.

10. Kulakova, E.S., Safarov, A.M., Safarova, V.I., Malkova, M.A., Kantor, E.A. Phenol monitoring in the air of the city residential part *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 579(1), 012102.
11. Muravyova E.A., Popkov V.V. Development and Research of a Dynamic Flow Laboratory Bench Model. In: *Proceedings of the 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS)*. Ufa; 2019. p. 177–122.
12. Белоусова Е.С., Насонова Н.В., Лыньков Л.М. Огнестойкое экранирующее покрытие на основе шунгитсодержащей краски // Нанотехнологии в строительстве. 2013. Т. 5, № 4. С. 97–109.
13. Байков И.Р., Смородова О.В., Трофимов А.Ю., Кузнецова Е.В. Экспериментальное исследование теплоизоляционных наноматериалов на основе аэрогелей // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Т. 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).
14. Киямов И.К., Вахитова Р.И., Сарачева Д.А. Исследование свойств наноматериалов // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Т. 12, № 2. С. 65–70. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-2-65-70](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-65-70).
15. Zaki S.I., Hossam A.H., Mostafa A.M.. The effect of using hybrid nanomaterials on drying shrinkage and strength of cement pastes. *Nanotechnologies in Construction*. 2016; 8(2): 109–134. DOI: [10.15828/2075-8545-2016-8-2-109-134](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-109-134).
16. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Буянтуев С.Л., Кузнецова А.Ю. О влиянии углеродных наноматериалов на свойства цемента и бетона // Нанотехнологии в строительстве. 2016. Т. 8, № 5. С. 16–41. DOI: [10.15828/2075-8545-2016-8-5-16-41](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-5-16-41).
17. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Разумеев К.Э. [и др.] Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть VI // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 6. С. 370–378. DOI: [10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-370-378).
18. Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И. Сезонная динамика эмиссии CO₂ из почв города курска // Почвоведение. 2021. № 1. С. 70–79. DOI: [10.31857/S0032180X21010111](https://doi.org/10.31857/S0032180X21010111).
19. Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I. Methodology for creating and studying units for adsorption separation and purification of gas mixtures. *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021; 6(3): 179–203. DOI: [10.17277/jamt.2021.03.pp.179-203](https://doi.org/10.17277/jamt.2021.03.pp.179-203).
20. Пути снижения выброса в атмосферу диоксида углерода на производственных процессах в растениеводстве / Р.Н. Хафизов, Ф.Х. Халиуллин, К.А. Хафизов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 38–42. DOI: [10.12737/2073-0462-2021-38-42](https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-38-42).
21. Chainikov D., Chikishev E., Anisimov I., Gavaev A. Influence of ambient temperature on the CO₂ emitted with exhaust gases of gasoline vehicles. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: electronic edition, 19–21 May 2016, Yurga, Russian Federation. National Research Tomsk Polytechnic University*. Yurga: IOP Publishing Ltd; 2016. p. 12109. DOI: [10.1088/1757-899X/142/1/012109](https://doi.org/10.1088/1757-899X/142/1/012109).
22. Hristov H., Bakalov I., Shopov B., Yovkov D. Modeling of the Dependence of CO₂ Contained in the Exhaust Gases on the Amount of Hydrogen Gas Supplied to the Engine. *Pedagogy*. 2021; 93(S6): 217–223. DOI: [10.53656/ped21-6s.19mod](https://doi.org/10.53656/ped21-6s.19mod).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Муравьева Елена Александровна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Лаборатории мониторинга климатических изменений и углеродного баланса экосистем ЦТД УГНТУ, Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Уфа, Россия, muraveva_ea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7118-5570>

Кулакова Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории мониторинга климатических изменений и углеродного баланса экосистем ЦТД УГНТУ, Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Уфа, Россия, kulakova87@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3655-027X>

ВКЛАД АВТОРОВ

Муравьева Е.А. – личный вклад автора заключается в научном редактировании статьи и подготовке публикации, проведении сравнительного анализа.

Кулакова Е.С. – личный вклад автора заключается в предложении идеи, сборе и обработке материала, разработке результатов исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 29.12.2021; одобрена после рецензирования 26.01.2022; принята к публикации 04.02.2022.

PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

Compliance requirements of publication ethics in the preparation and publication of the journal Science Editor and Publisher apply to all members of the publishing process, i.e., authors, editors, reviewers, and the publisher of the journal. The editorial board monitors compliance with the ethics requirements based on the manuals prepared by international specialized organizations, associations and publishers, as well as the Association of Science Editors and Publishers. The main standards relied on by the journal «Nanotechnologies in construction» are those developed by the Committee on Publication Ethics ([Committee on Publication Ethics](#)) in the United Kingdom, by the [publisher Elsevier](#) (Netherlands), and other non-Russian editorial associations and information systems, as well as the [declaration of «Ethical Principles of Scientific Publications»](#), adopted by the Association of Science Editors and Publishers (Russia).

The responsibility of the authors of material for the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The author submits materials for review, which have not been previously published. If the article is based on previously published material which are not academic articles or based on materials presented on the Internet, the author should notify the editorial staff of the journal.
2. The author does not submit the same article to different journals for review.
3. All co-authors consent to the submission of their articles to the journal.
4. The author should inform the editorial staff about a potential conflict of interest. In the case of the absence of any competing interests the author should claim that by writing «Author declare the absence of any competing interests» in the paper.
5. The author takes the necessary steps to ensure the correctness of citations in the submitted article.
6. The list of authors included only individuals who have made significant contributions to the research.
7. The author correctly cites his or her previous work as to avoid self-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 отзывает статьи, в которых были выявлены нарушения научной этики или критические ошибки.

Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Главный редактор отвечает за принятие решения о том, какие из представленных в редакцию журнала работ следует опубликовать. Это решение всегда должно приниматься на основе проверки достоверности работы и ее важности для исследователей и читателей. Главный редактор может руководствоваться методическими рекомендациями, разработанными 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 Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0); agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) are available here <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

When submitting articles to the journal, it is presumed that:

- the work has not been previously published in any other journal;
- the article is not under consideration in any other journal;
- all co-authors consent to the publication of the article;
- there is implicit or explicit consent of the organization in which the study was conducted.

Information about the conflict of interest

The article should exclude any actual or potential conflict of interest. If there is no conflict of interest, you should write that «the author declares no conflict of interest.»

When submitting a manuscript to the journal, authors should ensure that the content of the paper corresponds the topic of the journal; the structure and the format of the paper meet the editorial requirements; all citations are properly formatted and the source of tables and figures are shown (unless otherwise indicated, it is assumed that the tables and figures created by the author).

Basic the sections of the journal:

- construction material science;
- the study of the properties of nanomaterials;
- the results of the specialists' and scientists' researches;
- manufacturing technology for building materials and products;
- international scientific and technical cooperation;
- overview of inventions in the field of nanotechnology;
- development of new materials;
- rational use of natural sources;
- efficient use of recycled resources;
- the application of nanotechnology and nanomaterials;
- system solutions for technological problems;
- in related sectors;
- forums, exhibitions, conferences and events in the area of construction and nanoindustry.

These are the topics of the papers published in the journal: creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; cement and other binders with mineral and organic additives; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; modification of building materials with nanofibers; disperse composite materials with nanocoating; formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering; technologies aimed at studying nanomaterial properties; the systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

The journal can also publish: original article, review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.

The structure of the paper

IN ENGLISH

NAME OF THE SECTION (In English)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.) (In English)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Title (In English)

Authors' first name and last name (In English)

place of employment of each author, city, country (In English)

(name of institution (organization) at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.)

*Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID author:

first name and last name – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Abstract: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In English):

Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion... Conclusion...

Keywords: (In English)

Acknowledgments: (if available) (In English)

For citation: (In English)

Example.

For citation: 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. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

Text of the paper: (In English, number of words 3000–6000)

• INTRODUCTION

• METHODS AND MATERIALS

• RESULTS

• DISCUSSION

• CONCLUSIONS

References (In English) (Vancouver Style)

Information about the author (authors) (In English)

– first name, last name (full);

– academic degree;

– name of institution (organization) and its department at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.;

– address of the institution (organization), its department at which the author works or studies (city and country);

– authors' e-mail address;

– Open Researcher and Contributor ID (ORCID) (if available).

E-mail address is given without word “e-mail” and is not followed by dot. ORCID is given as an electronic address in Internet and is not followed by dot. Name of institution (organization), its address, e-mail address and ORCID of the author are separated with a comma.

The editors can give additional information about the author: position, honorary title, membership in organizations, etc.

Example.

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

Contribution of the authors (In English):

author's last name and initials; author's personal contribution in article writing is briefly described (concept, collection of materials, analytical work, article writing, scientific editing of the text, all authors made equal contribution to preparation of the article, etc.).

Example.

Marina S. Morozova – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Elena V. Bokova – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.

IN RUSSIAN

NAME OF THE SECTION (In Russian)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.) (In Russian)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Title (In Russian)

Authors' first name and last name (In Russian)

place of employment of each author, city, country (In Russian)

(name of institution (organization) at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.)

* Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID author:

first name and last name (In Russian) - <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Abstract: the source of information, which is independent on the paper and which allows

Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In Russian):

Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion... Conclusion...

Keywords: (In Russian)

Acknowledgments: (if available) (In Russian)

For citation: (In Russian)

Example.

Для цитирования: Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 4. С. 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

Text of the paper: (In Russian, number of words 3000–6000)

• **INTRODUCTION**

• **METHODS AND MATERIALS**

• **RESULTS**

• **DISCUSSION**

• **CONCLUSIONS**

References (In Russian) (Vancouver Style)

Information about the author (authors) (In Russian)

– first name, last name (full);

– academic degree;

– name of institution (organization) and its department at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.;

– address of the institution (organization), its department at which the author works or studies (city and country);

– authors' e-mail address;

– Open Researcher and Contributor ID (ORCID) (if available).

E-mail address is given without word "e-mail" and is not followed by dot. ORCID is given as an electronic address in Internet and is not followed by dot. Name of institution (organization), its address, e-mail address and ORCID of the author are separated with a comma.

The editors can give additional information about the author: position, honorary title, membership in organizations, etc.

Example.

Писаренко Жанна Викторовна – д-р экон. наук, доцент кафедры управления рисками и страхования экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия, z.pisarenko@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

Contribution of the authors (In Russian):

author's last name and initials; author's personal contribution in article writing is briefly described (concept, collection of materials, analytical work, article writing, scientific editing of the text, all authors made equal contribution to preparation of the article, etc.).

Пример.

Морозова М.С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Бокова Е.В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

The authors declare no conflicts of interests. (In Russian)

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X. (In Russian)

Manuscript text

File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in .rtf format.

Text layout

- Use the font Times New Roman, font size – 14 pt., and 1.5 line spacing;
- Do not use an underscore in the text (for subtitles – use bold, to highlight text – use italics);
- Non-Russian languages titles (journals, organizations, etc.) should be left in the original, enclosed in quotes.

Abbreviations

All abbreviations should be defined when first used. If the article contains a large number of abbreviations, a list deciphering each of them can be included before the text of the article

Tables and Figures

All tables and figures must be numbered and identified, they should be a reference in the text. The tables should not contain empty columns. Figures should be of good quality, suitable for printing. Figures should be submitted together with the article, with each figure submitted as an individual file.

One way to check the quality of the image, is to increase its size using any image manipulation software. A high quality image is not 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. The journal adopted the Vancouver style of reference design and citation.

Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

1. Authors retain copyright of the work and provide the journal right of first publication of the work.
2. The authors retain the right to enter into certain contractual agreements relating to the non-exclusive distribution in the published version of the work here 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 Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) смотрите здесь <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>.

Представление статьи в журнал подразумевает, что:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие – неявное или явное – организации, в которой исследование было проведено.

Информация о конфликте интересов

В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что содержание статьи соответствует тематике журнала; структура статьи и оформление соответствуют требованиям редакции; все цитирования оформлены корректно, указаны источники для таблиц и рисунков (если не указано иное, предполагается, что таблицы и рисунки созданы автором).

Основные разделы журнала:

- строительное материаловедение;
- исследование свойств наноматериалов;
- результаты исследований ученых и специалистов;
- технологии производства строительных материалов и изделий;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- обзор изобретений в области 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: научные статьи, обзорные статьи, редакционные статьи, дискуссионные статьи, редакторские заметки, рецензии на книгу, рецензии на статью и т. п.

Структура статьи (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021)

НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

НАЗВАНИЕ РУБРИКИ ИЛИ РАЗДЕЛА ЖУРНАЛА (In English)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, paper reviews, etc.) (In English)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Заглавие статьи (In English)

Имя Отчество (при наличии) **Фамилия автора** (-ов) (In English)

обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (In English)

(наименование организации (учреждения), где работает или учится автор указывается без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т.п.)

* Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID автора (-ов):

Фамилия и инициалы – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Abstract: независимый от статьи источник информации, который позволяет ученым и специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (**Introduction, Methods and Materials, Results, Discussion, Conclusion**), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке):

Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion...Conclusion...

Keywords: (In English)

Acknowledgments: (при наличии) (In English)

For citation: (In English)

Пример.

For citation: Sinitsin D.A., Shayakhmetov U.Sh., Rakhimova O.N., Khalikov R.M., Nedoseko I.V. Nanostructured foam ceramics for building purposes. *Nanotechnologies in Construction*. 2021;13(4):213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

Статья ((In English) объем – 3–6 тыс. слов):

• **INTRODUCTION**

• **METHODS AND MATERIALS**

• **RESULTS**

• **DISCUSSION**

• **CONCLUSION**

References (In English) (согласно Vancouver Style)

Information about the author (authors) (In English)

– имя, отчество, фамилия автора (полностью);

– ученое звание;

– ученая степень;

– наименование организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т.п.);

– адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город и страна);

- электронный адрес автора (e-mail);
- открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии).

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Наименование организации (учреждения), ее адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Редакция издания может расширить дополнительные сведения об авторе: указать его должность, почетные звания, членство в организациях и т. п.

Пример.

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

Contribution of the authors (In English):

фамилия и инициалы автора; в краткой форме описывается личный вклад автора в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста, все авторы сделали эквивалентный вклад (равный вклад) в подготовку публикации и т. д.).

Пример.

Marina S. Morozova – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Elena V. Bokova – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.

НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

НАЗВАНИЕ РУБРИКИ ИЛИ РАЗДЕЛА ЖУРНАЛА (на русском языке)

Научная статья (обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью и т. п.) (на русском языке)

УДК XXX

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Заглавие статьи (на русском языке)

Имя Отчество (при наличии) **Фамилия автора** (-ов) (на русском языке)

обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке)

(наименование организации (учреждения), где работает или учится автор указывается без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.)

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID автора (-ов):

Фамилия и инициалы – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Аннотация (или **Резюме**): независимый от статьи источник информации, который позволяет ученым и специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (введение, методы и материалы, результаты, обсуждение, заключение (выводы)), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке):

Аннотация (или **Резюме**): **Введение... Методы и материалы... Результаты... Обсуждение... Заключение (выводы)...**

Ключевые слова: (на русском языке)

Благодарности: (при наличии) (на русском языке)

Для цитирования: (на русском языке)

Пример.

Для цитирования: Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 4. С. 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© авторы, 2021

Статья (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов):

- Введение
- Методы и материалы
- Результаты
- Обсуждение
- Заключение (выводы)

Список источников (на языке оригинала статьи – русском или английском)

Информация об авторе (-ах) (на русском языке)

- фамилия имя отчество автора (полностью);
- ученое звание;
- ученая степень;
- наименование организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.);
- адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город и страна);
- электронный адрес автора (e-mail); – открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии).

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Наименование организации (учреждения), ее адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Редакция издания может расширить дополнительные сведения об авторе: указать его должность, почетные звания, членство в организациях и т. п.

Пример.

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

Вклад авторов (на русском языке):

- фамилия инициалы автора;
- в краткой форме описывается личный вклад автора в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста, все авторы сделали эквивалентный вклад (равный вклад) в подготовку публикации и т. д.).

Пример.

Морозова М.С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Бокова Е.В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию XX.XX.202X; одобрена после рецензирования XX.XX.202X; принята к публикации XX.XX.202X.

Оформление текста рукописи

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .rtf.

Оформление

- используйте шрифт 14 Times New Roman и интервал 1,5 строки;
- не используйте подчеркивание внутри текста (для подзаголовков используйте полужирное начертание, для выделения в тексте – курсив);
- иностранные названия (журналов, организаций и т.д.) следует оставлять в оригинале, заключать в кавычки.

Аббревиатуры

Все аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если аббревиатур много, можно сделать список с расшифровкой каждой из них перед текстом статьи.

Таблицы и рисунки

Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и названы, на них должна быть 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 источников

В список литературы включаются источники, используемые в тексте статьи. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

Оформление ссылок на источники, библиографических ссылок осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021.

Авторские права

Авторы, публикующие в журнале, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.
2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договоренности, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.
3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и 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.