



IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle
- Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла
- The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures
- Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур
- Assessment of the colloidal system with nanoparticles influence on wettability of carbonate rock surface
- Оценка влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород
- Nanomodification is an effective way of forming a fine-grained structure of a weld metal
- Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва

www.nanobuild.ru

e-mail: info@nanobuild.ru

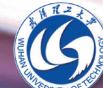
ISSUED WITH SUPPORT OF
ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



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

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

ISSN 2075-8545 (online)

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

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

The main tasks:

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

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

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

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

The language of publication: English; Russian.

The edition's readers and authors are:

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

EDITORS

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

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

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

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

EXECUTIVE EDITOR – Yulia A. EVSTIGNEVA, Member of Russian Association of Journalists, Moscow, Russian Federation

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

HEAD OF DESIGN DEPARTMENT – Andrey S. REZNICHENKO, Businessman, Moscow, Russian Federation

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

CHIEF FOR FOREIGN RELATIONS – Svetlana R. MUMINOVA, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, Russian Federation

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

EDITORIAL BOARD

- Peter J.M. BARTOS**, Prof., Queen's University of Belfast, RILEM Technical Committee TC 197-NCM on Nanotechnology in Construction Materials (2002–2009), Scottish Centre for Nanotechnology in Construction Materials (University of West Scotland), Belfast, UK
- Yury M. BAZHENOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Scientific and Educational center «Nanomaterials and Nanotechnologies» Moscow, Russian Federation
- Evgeny M. CHERNYSHOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation
- Vyacheslav R. FALIKMAN**, Dr. (Mater.), Scientific Research Center «Construction», Structural Concrete Association, International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM), Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Moscow, Russian Federation
- Oleg L. FIGOVSKY**, Dr. Sci. (Eng.), Israel Polymate research center, Nanotech Industries, Inc., Daly City, California, USA; Migdal HaEmek, Israel
- Zhengyi FU**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Wuhan University of Technology, State Key Lab of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan, China
- Leonid A. IVANOV**, Cand. Sci. (Eng.), Russian Academy of Engineering, International Academy of Engineering, Center for New Technologies «NanoStroitelstvo», Moscow, Russian Federation
- Sergei V. KALIUZHNIY**, Dr. Sci. (Chem.), Prof., RUSNANO, Moscow, Russian Federation
- Vadim G. KHOZIN**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Department «Technology of Construction Materials, Products and Structures», Kazan, Russian Federation
- Evgeniy V. KOROLEV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Scientific and Educational center «Nanomaterials and nanotechnologies» Moscow, Russian Federation
- Leonid M. LYNKOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Department «Information Security», Minsk, Belarus
- Polad MALKIN**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Ben-Gurion University in the Negev, StartUpLab, Beer-Sheva, Israel
- Viktor S. MECHTCHERINE**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Technical University of Dresden, Institute of Construction Materials, Dresden, Germany
- Surendra P. SHAH**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Northwestern University, Evanston, Illinois, USA
- Vladimir Y. SHEVCHENKO**, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Institute of Silicate Chemistry named after I.V. Gorbushchikov 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., Assistant Professor, West Pomeranian University of Technology, Department of Building Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Szczecin, Poland; Technical University of Berlin, Berlin, Germany
- 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 № 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 № 3 (Vol. 12) is 19.06.2020

ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



**INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING**



**WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)**

CONTENTS

PUBLISHER INFORMATION	127
CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE	
Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle	130
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
Ivanov L.A., Demenev A.V., Pisarenko Zh.V., Wang Q. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part III	140
INTERNATIONAL EXPERIENCE	
Sikora P. The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part II	147
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities.....	155
THE APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS	
Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F. Nanomodification is an effective way of forming a fine-grained structure of a weld metal. Part I. Factors determining the stability of the weld seam against embrittlement	160
THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES	
Sergeev V.V., Tanimoto K., Abe M., Sharapov R.R., Zeigman Y.V. Assessment of the colloidal system with nanoparticles influence on wettability of carbonate rock surface.....	166
PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION	
Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Nguyen T.A., Topolsky N.G. Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings. Part 1	174
PUBLISHING ETHICS	185
AUTHOR GUIDELINES.....	189

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

ISSN 2075-8545 (online)

«Нанотехнологии в строительстве» – рецензируемый научный журнал.

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

Основные задачи:

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

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

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

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

Язык издания: русский; английский.

Авторами и читателями издания являются:

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

РЕДАКЦИЯ

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА – ИВАНОВ Леонид Алексеевич, канд. техн. наук, Российская инженерная академия, Международная инженерная академия, Центр новых технологий «НаноСтроительство», г. Москва, Российская Федерация
Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, l.a.ivanov@mail.ru

ШЕФ-РЕДАКТОР – ЕВСТИГНЕЕВА Юлия Анатольевна, член Союза журналистов России, г. Москва, Российская Федерация
Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, evstigneeva.ju@yandex.ru

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА ДИЗАЙНА И ВЕРСТКИ – РЕЗНИЧЕНКО Андрей Сергеевич, индивидуальный предприниматель, г. Москва, Российская Федерация
Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, ras77222@yandex.ru

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ПО ВНЕШНИМ СВЯЗЯМ – МУМИНОВА Светлана Рашидовна, канд. техн. наук, доцент, Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Российская Федерация
Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru, muminova@list.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СИКОРА Павел, канд. тех. наук, Западно-Поморский технологический университет, кафедра строительной инженерии факультета гражданского строительства и архитектуры, г. Щецин, Польша; Технический университет Берлина, г. Берлин, Германия

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

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

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

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

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

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

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

Дата выхода в свет № 3, Том 12, 2020: 19.06.2020 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	127
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла	130
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
Иванов Л.А., Деменев А.В., Писаренко Ж.В., Ванг Ц. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III	140
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ	
Сикора П. Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур. Часть II	147
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	155
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ	
Болдырев А.М., Сизинцев С.В., Санников В.Г., Першин В.Ф. Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва. Часть I. Факторы, определяющие стойкость сварного шва против охрупчивания	160
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
Сергеев В.В., Танимото К., Абэ М., Шарапов Р.Р., Зейгман Ю.В. Оценка влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород.....	166
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г. Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1	174
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	185
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ.....	189



Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle

E.M. Chernishov , O.V. Artamonova* , G.S. Slavcheva 

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

*Corresponding author: e-mail: ol_artam@rambler.ru

ABSTRACT: The paper reviews the theoretical framework of nanomodification principles of building composites and the conceptual model of the nanomodification from the point of view of the evolutionary model of the solid phase formation depending on the kinetics of heterogeneous processes. According to the route, the main factors of the cement system nanomodification were identified for all stages of the technological life cycle. These are associated with the nano-sized particles playing the role of a) structure-forming nuclei, b) substrates for crystallization, c) centers of new formation zoning in the matrix substance of the material, d) nano-reinforcing matrix element. The concepts of the nanomodification and technological tools of the nanomodification of building composites are substantiated. Their hydration kinetics, phase composition, microstructure, rheology and strength characteristics are investigated in order to evaluate the efficiency of the nanomodification principles. It is shown that the use of the nanomodifiers enhances the ductility of cement paste, accelerates cement hydration processes by 9–28 times, and increases strength by 1.5–2 times. This will reduce the cost of flow, casting and hardening processes in the technological life cycle of cement-based composites.

KEYWORDS: nanomodification, nanoparticles, evolutionary route, technological life cycle, properties of cement-based composites.

FOR CITATION: Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12, no. 3, pp. 130–139. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139.

1. INTRODUCTION

An advanced level of cement-based composite's properties such as High Performance Concrete (HPC), Ultra High Performance Concrete (UHPC), 3D-printable concrete are largely determined by a structural modification of the cementitious matrix through using micro/nanoparticles and fibers. Nanoparticles (NPs) as additives to cement-based composites have been the focus of recent researches, as it is envisioned that their uniquely high surface area and reactivity can beneficially modify the mechanical and durability properties of cement-based materials [1–4].

In our previous experimental studies, we considered the possibility and efficiency of using 12 additives attributable [6] to three groups based on the size: 1) the group of nano-sized ones – specially synthesized particles $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$, sols of aluminum hydroxide particles and iron hydroxide, montmorillonite, NaX type zeolite, chrysotile nanotubes, fulleroid type carbon nanotubes; 2) the group of ultrafine ones – silica fume (waste of ferroalloy

production), carbon pipes of the type “Astralen-C”, a departure from the combustion of high-energy fuel; 3) to the group of micro-disperse ones – natural montmorillonite, tripoli, shungite. These additives were monitored by the effect of their type, dosage, and methods of introduction into the cement-water suspension on the structure formation processes [6, 7]. When varying the dosage of nano-additives from 1 to 0.0001% of the cement mass, it was shown that its optimal value corresponds to hundredths of a percent. Based on the monitoring, a different measure of the effect of the studied additives was revealed and it was found that the most effective of them can be considered as additive of SiO_2 nanoparticles, chrysotile or carbon nanotubes.

The analysis of the literature and our previous results (see, for example, References [6–9]) indicated that the most effective additives for modifying hardening cement paste are those containing inorganic nanoparticles similar in crystal-chemical structure (for example, SiO_2) and SPs. However, a nano-particulate silica-based modifier is technologically difficult to use, because it should be

uniformly distributed throughout the material. This issue can be resolved if an additive is prepared in an aqueous medium, which is then used as the water of hydration. Note that an SP introduced into a combined additive during synthesis should have two functions: on the one hand, it should stabilize the growth of colloidal silica aggregates, and on the other, it should subsequently help resolve the technical problem of uniformly distributing the combined additive over the cement system during the cement preparation process. We have developed a process for the sol–gel synthesis of a SiO_2 -based combined additive (CND) in the presence of superplasticizers and investigated the hydration kinetics, phase composition, microstructure, and strength characteristics of modified cementitious materials [10]. The results demonstrated that the combined nano-additives (CND) accelerated hydration processes due to the rapid accumulation of the cementitious substance during the hardening system formation process. The results of a detailed study of modified cement systems were used to optimize the composition of the combined additive.

However, in previous studies, there is no generalized approach to the nanomodification of the cement-based composite's structure, based on nano-effects and nano-phenomena in the formation of a hardening system within the framework of the technological life cycle of cement-based composites.

In our work, an attempt is made to identify the essence of the mechanisms of nano phenomena to determine the conditions for the effective control of the structure formation of the cementitious matrix as a hardening system. The structure formation of the cementitious matrix is considered during the technological life cycle of cement-based composites, including stages of mixing, flow, casting and hardening (Fig. 1).

It is supposed that the rheological behaviour of viscous-plastic cement-based during mixing, flow and casting depends on coagulative contacts in the cementitious matrix, and advanced peculiar properties are determined by converting coagulative contacts to crystal contacts during hydration and hardening.

The first part of the article gives our scientific ideas about evolutionary route of solid substance formation regarding the processes of hydration and hardening of cement systems. According to the evolutionary route, the main factors and criteria of the nano-modification of cement-based composites have been identified for all the stages of the technological life cycle. In the second part of the paper, the examples of experimental verification of theoretical approaches to the nano-modification of cement systems are presented.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

The fixed assets of the «nano tool», implemented in construction materials technologies, include the influence and effect of «top-down» and «bottom-up» nanotechnological approaches [6]. The «nano top-down» approach is based on the use of the phenomenon of changes in the energy state of the structure and, accordingly, the physical and/or physicochemical activity of surface and internal volumes of particles of a solid as they are crushed by mechanical or physical methods.

The effectiveness of the principle is determined not only by the nano-, micro-size of the particles, but also by the measure of the amorphization of their surface volumes. Amorphization is expressed in the «saturation» of volumes with structural defects of the nano-size range. The principle is the basis of the mechanochemical activa-

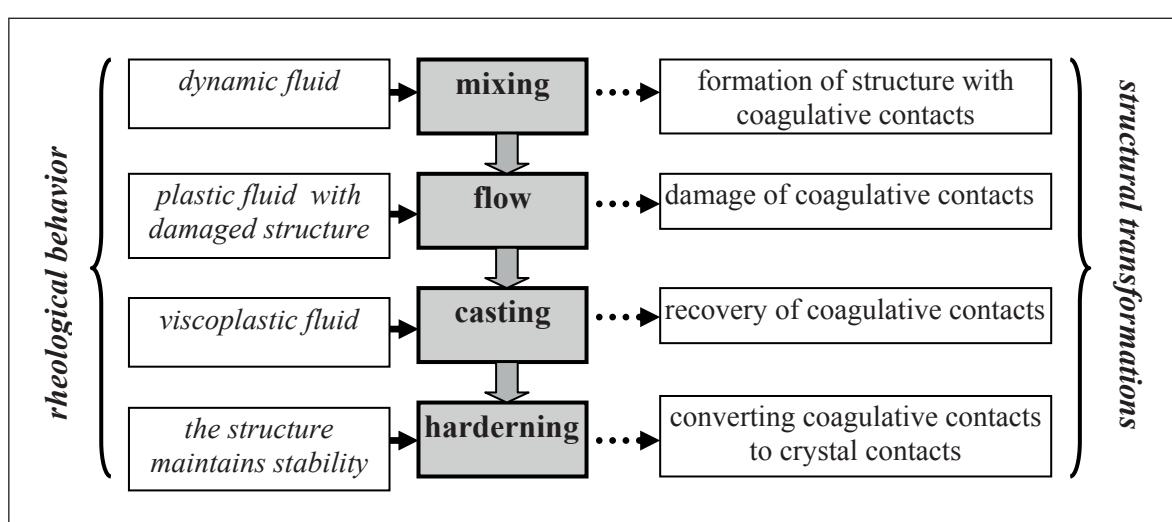


Fig. 1. The technological life cycle of the cement-based composites

tion of the components of raw mixtures in the technologies of building materials.

The «nano bottom-up» principle is based on the control of condensation phenomena in the evolutionary route of the formation of a solid-phase state of a substance in hydration, hydrothermal-synthesis, thermal synthesis hardening systems. The effectiveness of the principle is determined by the possibilities of effecting the development of stages, transitions, selections in the evolutionary route, and, in general, the kinetics of heterogeneous processes of hydration, colloidation, crystallization in the systems (mixtures) of basic and acidic oxides when developing building materials.

In disclosing and analyzing a general evolutionary model of the formation of a solid, one can follow the interpretations of I.V. Melikhova [11].

In accordance with modern concepts applicable to systems of any composition, the following main stages in the evolution of a substance can be distinguished in the formation of a solid: the nucleation of a solid phase, particle growth, agglomeration, spontaneous transformation in time (Fig. 2). In this case, it is necessary to talk of three evolutionary transitions between the stages and, accordingly, the phenomena of molecular, topological and morphological selections. It is important to emphasize that each stage corresponds to a certain range of sizes of

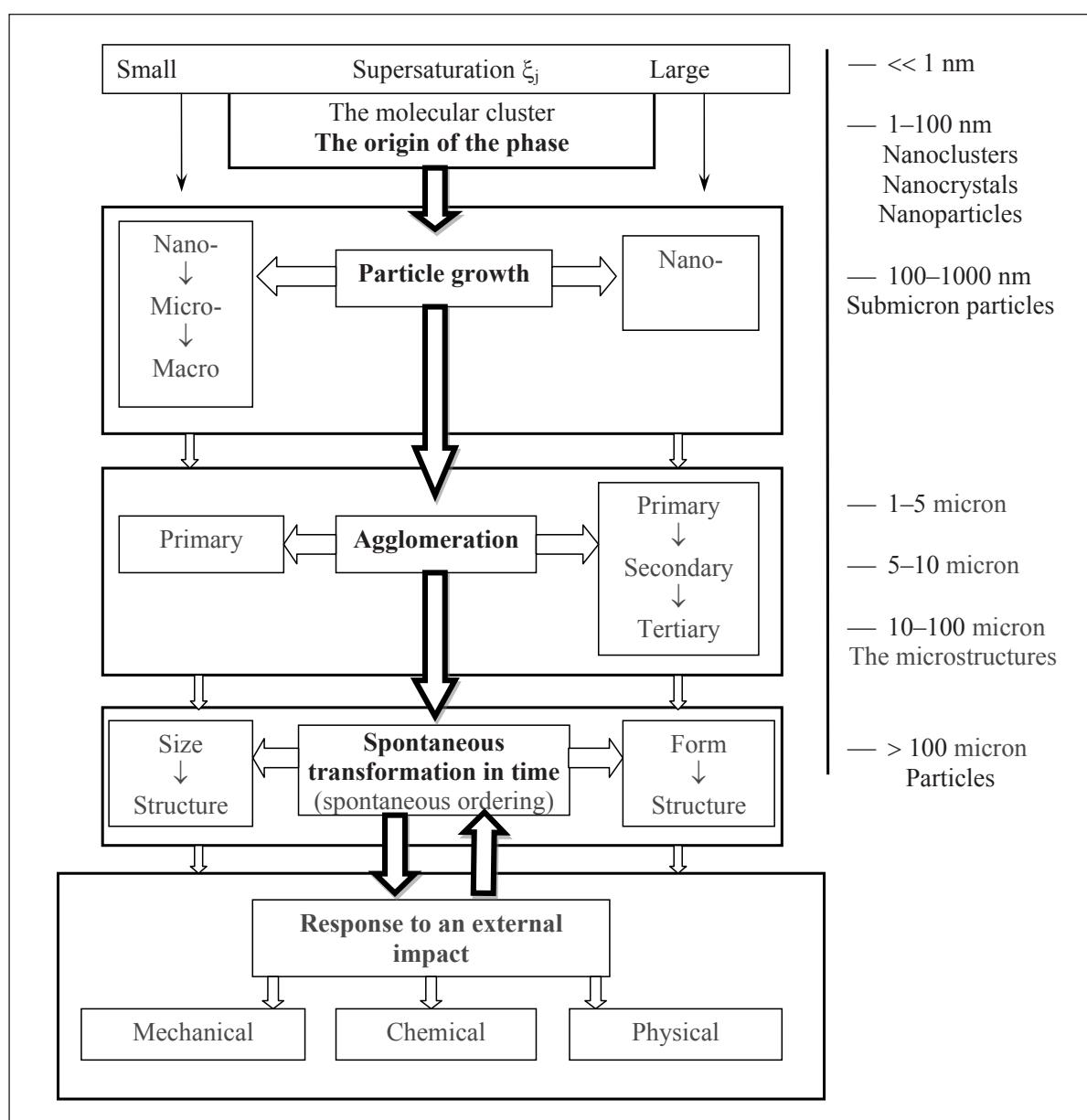


Fig. 2. The evolutionary route of solid substances formation and «dimensional scale» of its structural components

solid particles based on them. The size scale is shown in Fig. 2. It illustrates dimensional and geometric boundaries and limits. It is clear that we can use the «arsenal of nano» most significantly at the stages of nucleation of the phase and growth of particles.

At other stages, other physicochemical methods of technological impact, affecting the micro and macroscale of the evolutionary process, become priorities. This should be taken into account when developing methods of influence on each of the considered stages and transitions of the evolutionary route. Based on this, a detailed discussion of the determining stages of the evolutionary route and transitions between them should be carried out, bearing in mind the rationale and formation of nanoresources, but not only «nano» in the technology of building materials, if we take into account the problem of modifying the structure on all its scale levels.

Summarizing the analysis of the evolutionary route of the solid state and the related analysis of engineering and technological methods and means of structure nano-modifying, it is possibly reasonable to present

a systematics of the main phenomena and driving forces of the structural transitions between the stages of the route, factors controlling these transitions, their mechanisms effects on the hardening system (Table 1). The effects of structure formation control could be observed when the method of introducing nanoscale particles is applied.

These are associated with the nano-sized particles playing the role of a) structure-forming nuclei, b) substrates for crystallization, c) centers of new formation zoning in the matrix substance of the material, d) nano-reinforcing matrix element. In all these cases, the essential point is the lowering of the energy threshold for activating the processes of synthesizing hardening systems and accelerating hardening. Another important point is the spatial geometric modification of the structure, which, as was noted, is its zoning and the corresponding effect on the characteristics of homogeneity-inhomogeneity and, as a result, on the mechanical properties of the material [12]. Finally, one should also keep in mind the effects of disperse reinforcement.

Table 1
Systematics of structural modification mechanisms at the main transitions of the evolutionary route of solid substance formation

Stage of the process	Transition phenomenon	Driving force	Control factors	Control techniques	Modifying mechanism	Modification result
<i>Origin of the phase</i>	<i>Particle growth</i>	Molecular selection	Reducing the chemical potential of the system	1) the radius of the nucleus phase; 2) the degree of super-saturation of the solution (concentration and solubility of the phase-form-ing substance)	1) methods of synthesis, depending on the type of the nascent phase; 2) the introduction of nano-sized additives	1) direct physico-chemical interaction; 2) the catalytic role of nanoscale particles
		Topological selection	Reducing the surface energy of the system	1) the type of physical and chemical adsorption; 2) the degree of dispersion; 3) formation of a fractal grid of solvent	1) the introduc-tion of plasticizers and SP; 2) the introduc-tion of nano-and ultrafine carbon particles	1) change in thermodynamics and kinetics of the hardening process; 2) changes in the composition, structure and properties of solids
	<i>Agglomeration</i>	Morphological selection	Reducing the total energy of the system	1) the change in the inter-granular surface of the system; 2) the formation of additional boundaries	heat treatment, pressing, the introduction of additives of micro-particles	1) an increase in the area of intergranular contacts; 2) dispersed reinforce-ment of the structure; 3) formation of ordered hardening structures with dense packing of crystals

3. EXPERIMENTAL STUDY

This part of the article presents research results illustrating the implementation of the nano-principle «bottom-up» in the structure formation process and properties of cement systems. The results demonstrate the influence of combined nano-additives on the plasticity, kinetics of hydration and hardening of cement paste, structure and strength of hardened cement paste.

3.1 Materials and methods

Three types of cement pastes as matrix of cement – based composites were studied:

C+W – reference cement system without additives; C+W+CND – cement system with the complex additive of SiO₂ nanoparticles in combination with a plasticizer (additive CND), synthesized according to the original author's method; C+W+CNT – cement system with addition of carbon nanotubes of the fulle-roid type of the brand «Nanocyl-7000», treated with ultrasound (additive CNT). Portland cement CEM I 42.5 (EN 1971:2011) plasticizer of Sika trademark based on polycarboxylic ethers, manufacturing water and these nano-additives with a different dosage were used in the experiments for the production of cement paste with a W/C = 0.33. Hydration kinetics, phase composition, morphology of the structure, plasticity and strength kinetics have been investigated for the three types of cement pastes (Table 2).

Studies of the parameters of the kinetics of the cement hydration process were carried out under thermostatic conditions at temperatures of 0; 20; 40; 60°C (respectively, 273; 293; 313; 333 K), with the duration of the process of 1, 3, 7, 12 hours; 1, 3, 7, 14, 28 days.

The morphology of the structure of the hardened cement paste was examined on a JEOL JSM-7001F scan-

ning electron microscope. The phase composition of the reference and nano-modified cement paste was monitored by the X-ray method (CuK α radiation, $\lambda = 1.541788 \text{ \AA}$, ARL X'TRA diffractometer). The processing of diffractometric data was carried out automatically using the PDWin 4.0 computer program. The hydration degree $D_h(C_3S)$ was calculated [6] by the formula

$$D_h(C_3S) = (1 - I_m/I_0) \cdot 100\%, \quad (1)$$

I_m – the diffraction intensity of $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (C_3S)$ ($d = 2.75 \text{ \AA}$) phase for hardening cement paste samples; I_0 – the diffraction intensity of $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (C_3S)$ ($d = 2.75 \text{ \AA}$) for cement.

To evaluate the plasticity of the cement pastes during flow and casting the squeezing test with the constant plate speed ($v = 5 \text{ mm/sec}$) was used in accordance with the methodology developed in the works of N. Roussel [13]. The test was used as the estimation criterion of the behavior of the system in the flow and casting process. Cylindrical samples of fresh cement paste with radius R equal to their height $h_0 = 25 \text{ mm}$ were used for the implementation of the experiment. For the squeezing test, a sample was put between two smooth plates, diameter of which corresponded to the size of the sample and was loaded into a universal floor hydraulic testing system «INSTRON Sates 1500 HDS». The curves «compression force N – displacement Δ » obtained during the experiments were interpreted as influence curves of reduced compression load F^* from the relative change of the height of the sample.

$$F_i^* = Ph_i / \pi R^2, \quad (2)$$

where, $h_i = (h_0 - \Delta)$, h_0 is the initial height of the sample, Δ is the transfer in the i point of time, value R was

Table 2
Test matrix

Variables	Specimen ID				
	C+W	C+W+CND		C+W+CNT	
Dosage of nano-additives, mass/mass cement (%)	0	0.01	1	0.01	1
Plasticizer, mass/mass cement (%)	0	0.2	0.2	0	0
Morphology of the structure	+	+	-	+	-
Phase composition	+	+	+	+	+
Cement hydration degree	+	+	-	+	-
Kinetic parameters of hydration process	+	+	-	+	-
Plasticity	+	+	-	-	-
Compressive strength	+	+	+	+	+

taken as constant and equal to the radius of the sample at the beginning of the experiment.

According to the results of the analysis of the received experimental curves for the studied systems' values K_i , called plastic yield value by N. Roussel [13], were calculated at the first inflection point of the rheological curve $F^* = f(h_i/R)$:

$$K_i(h_i / R) = \sqrt{3} F^* / 2. \quad (3)$$

The compressive strength of the hardened cement paste was determined after 1, 3, 7, 14, 28 days under normal temperature and humidity conditions ($t = 20^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 95 \pm 5\%$); tests of samples - cubes with a size of $5 \times 5 \times 5$ cm were conducted on an INSTRON Sates 1500HDS test system; to ensure the statistical reliability of the results of physical and mechanical tests, the number of samples in the series ranged from 9 to 12. It was determined that the intra-serial coefficient of variability of the results of the strength assessment did not exceed 3–5%.

3.2. Results and discussions

3.2.1. Processes of hydration and structure formation of cement systems

The energy efficiency of the nano-modification is characterized by our results on changes in speed, temperature coefficient of speed, effective activation energy of the process of cement hydration under the influence of factors of the introduction of nano-additives and changes in temperature conditions, presented in [6]. The generalization of the experimental data shows that in systems with the nano-modifying additives, the cement hydration process is substantially accelerated: by the daily duration of hardening at 20°C (293 K), the degree of hydration reaches at least 70–75%. Such a result for the control «additive-free» system is recorded only by 28th day. Thus, in this example, the hydration is accelerated by criterion – by almost 30 times.

The effect of the accelerating action of additives is valid for all variants of the composition and temperature conditions of hydration, differing, however, in the magnitude and timing of the achieving the limiting values of the hydration degree. For the variants of low temperatures (0°C ; 273 K), the hydration degree of 70–75% is reached by 7th day, if the additive of pressure coefficient is used, and by 14th day, if the additive of CNT is used. At the same time, in the «additive-free» system, such a hydration degree is not achieved at all. By the 28th day, it makes only 50% of the possible maximum value. For higher temperatures (40 – 60°C ; 303–333 K), in systems with the considered nano-additives CND, the degree of hydration already reaches 80–85% by 1st hour of the hardening; by

7th hour it is 90%, and by the 1st day up to 95%. Based on this data, it can be concluded that, firstly, in the presence of nano-additives, the main part of the evolutionary route of cement hydration takes place almost within the first hour, and secondly, that the hydration of cement can be completed within the first day.

The effects of such acceleration of hydration are explained by the achieved decrease in the effective activation energy of the process under the conditions of the nano-modification. The effective activation energy required for the process «start» decreases 2.3–2.8 times as compared with the control «additive-free» system. It is worth emphasizing that the experimentally obtained the lowest EEA value (61.7 kJ/mol) corresponds to the use of a complex modifying additive based on nano-sized SiO_2 particles in combination with a superplasticizer [6]. This is explained by the fact that, unlike carbon nanotubes, SiO_2 nanoparticles are related to the mineral phases of hydration products with a crystal chemical structure that facilitates the formation of molecular clusters and nuclei on SiO_2 nanoparticles as active crystallization centers. We draw attention here to the fact that the accelerating role of the additive takes place, despite the fact that the surfactant present in the complex additive slows down the hydration processes. The introduction of CND and CNT nano-additives has a significant effect on the chemical, mineralogical composition and morphology of the hydration products.

According to the X-ray analysis data (Fig. 3–4) for the C+W reference system, it was found that the hydrated compounds of this system are predominantly highly basic calcium hydrosilicates ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), the quantity of which increases with time. In contrast to the C+W system, in the nanomodified C+W+CND system, the phases of tobermorite (present throughout the entire curing time), the low-basic calcium hydrosilicates of the composition ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) are predominantly registered already on the first day, the number of the phases increases with increasing curing time. On the first day (Fig. 3), the dominant phases in the C+W+CNT system are highly basic calcium hydrosilicates $3(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. By the 28th day of curing (Fig. 3) in the C+W+CND system, the dominant phase is low-basic calcium hydrosilicate $(\text{CaO})_x \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, which is also confirmed by scanning electron microscopy (Fig. 4). Obviously, this is due to the introduction of nano-sized particles of SiO_2 into the system, which are capable of a chemical interaction with clinker minerals of cement and a decrease in the basicity of the resulting hydrosilicate phases.

In the C+W+CNT system, there is a decrease in the number of highly basic calcium hydrosilicates and an increase in low-basic calcium hydrosilicates. In this case, the ettringite phase ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) is registered.

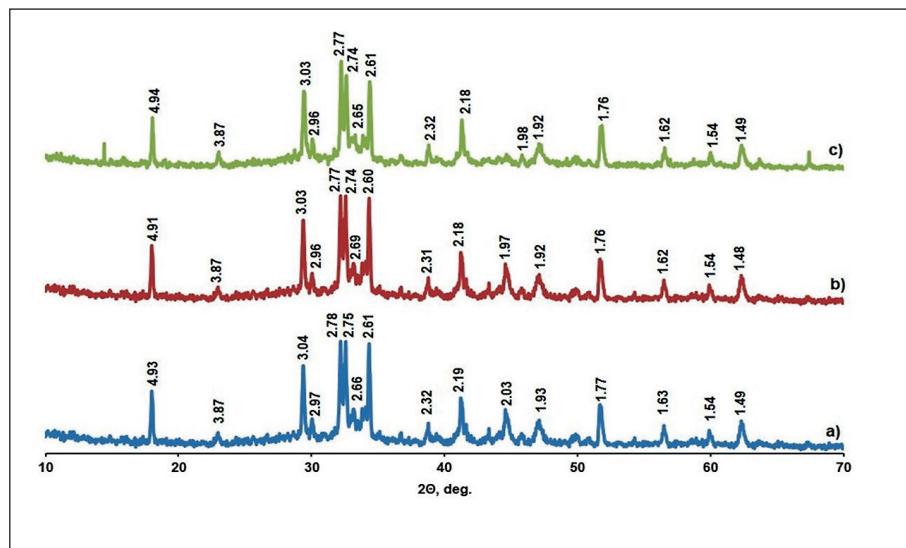


Fig. 3. X-ray diffraction patterns for a nano-modified cement system of one-day curing:

a) without additives; b) modified by CND; c) modified by CNT.

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ($d = 3.02; 2.75; 2.61; 2.18; 1.76; 1.48$); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ($d = 3.80; 3.01; 2.74; 1.80; 1.63$);

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d = 4.93; 3.11; 2.63; 1.93; 1.79; 1.69$); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d = 4.77; 3.01; 2.92; 2.37; 2.25; 1.96$);

$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ ($d = 3.06; 2.97; 2.80; 1.83; 1.67$); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ($d = 2.99; 2.77; 2.67; 2.58; 1.80$)

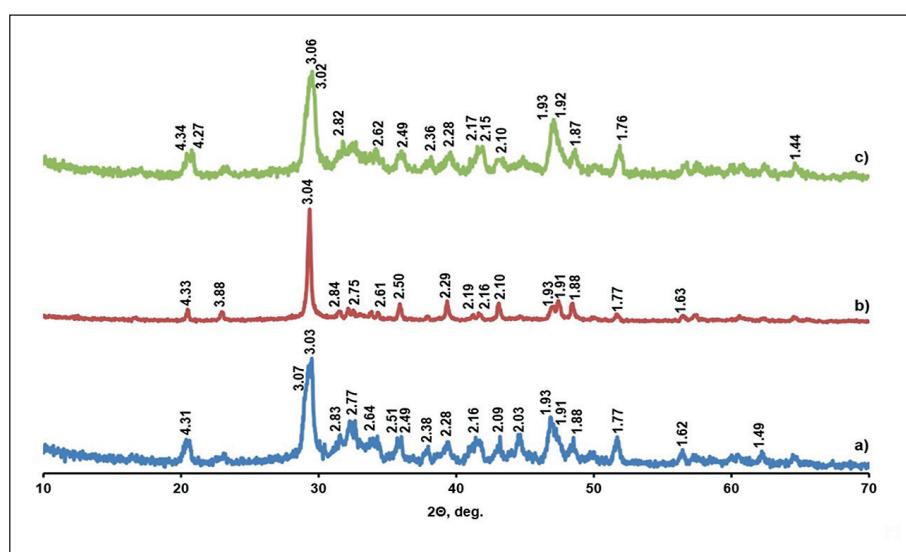


Fig. 4. X-ray diffraction patterns for a nanomodified cement system of 28-day curing:

a) without additives; b) modified by CND; c) modified by CNT.

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ($d = 3.02; 2.75; 2.61; 2.18; 1.76; 1.48$); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ($d = 3.80; 3.01; 2.74; 1.80; 1.63$);

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d = 4.93; 3.11; 2.63; 1.93; 1.79; 1.69$); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d = 4.77; 3.01; 2.92; 2.37; 2.25; 1.96$);

$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ ($d = 3.06; 2.97; 2.80; 1.83; 1.67$); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ($d = 2.99; 2.77; 2.67; 2.58; 1.80$)

According to the scanning electron microscopy (SEM), the microstructure of the cementitious matrix is represented by a typical amorphous C–S–H-gel, mainly representing poorly crystallized grains of irregular round shape (Fig. 5).

In this case, the particle size of the hydration products and the pores of the particles of unmodified and modified hardened cement pastes differ significantly. The structure of the hardened cement paste without nanomodifiers (Fig. 5 a) is heterogeneous, characterized by the presence

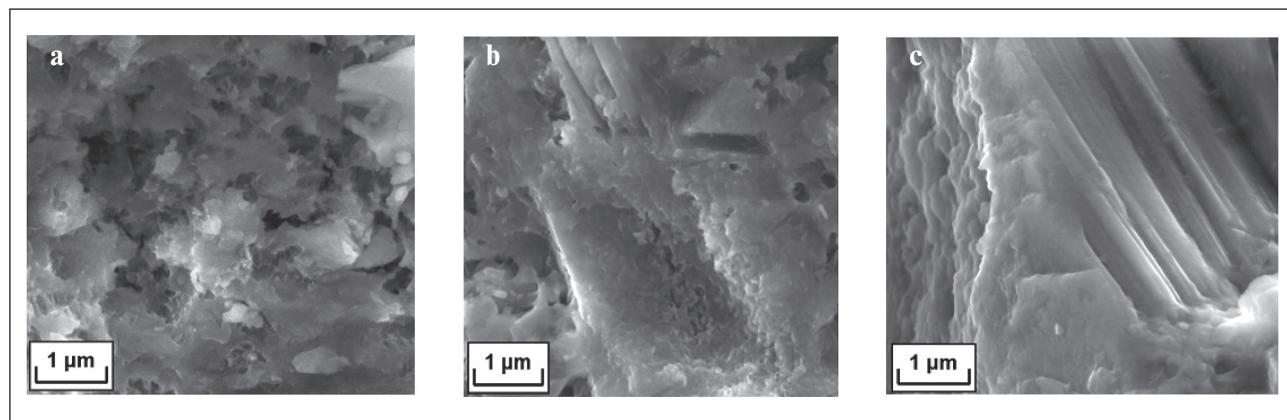


Fig. 5. Hardened cement paste micrographs (hardening time 28 days, SEM): a – without additives; b – modified by CND; c – modified by CNT

of larger pores and aggregates of particles, residual grains of a non-hydrated cement clinker. For the nano-modified hardened cement paste, the size of the crystallites formed, the pores of the C–S–H-gel, is significantly smaller than in the reference unmodified system (Fig. 5 b, c). In these systems, very small aggregates of crystallites of calcium hydrosilicates predominate; practically no residual grains of the cement clinker are observed. In the modified CNT structure of the hardened cement paste (Fig. 5 c), the presence of fibrous and plate crystalline aggregates is also noted.

As a result, the structure of the cement stone with CND and CNT is more dense and homogeneous, with a large number of contacts between the particles of the hydration products. We found out that introducing nanoparticles into cement systems accelerates cement hydration processes for the C+W+CND system by 28 times, and for the C+W+CNT system by 9 times. In the modification of CND cement systems, this is due to their catalytic role and the possibility of direct participation in the heterogeneous processes of phase formation of the hydrated compounds. For CNT, this is associated with an additional structuring of mixing water. On the other hand, CNT are nano-reinforcing elements, and as a result, they can significantly zone the space of the crystallization structure of the hydration products.

Our experimental data confirm the effective development of the cement hydration process provided that the nano-modification determines the optimal combination of the kinetic and diffusion component of the structure formation process [21]. The kinetic component controls the evolutionary route of the solid formation during the hydration of cement as far as it is possible to realize all the phenomena (stages, transitions, etc.) of the nucleation of particles of the new phase and their development. The diffusion component is acting as an opposed to the kinetic that controls the dynamics of the evolutionary route

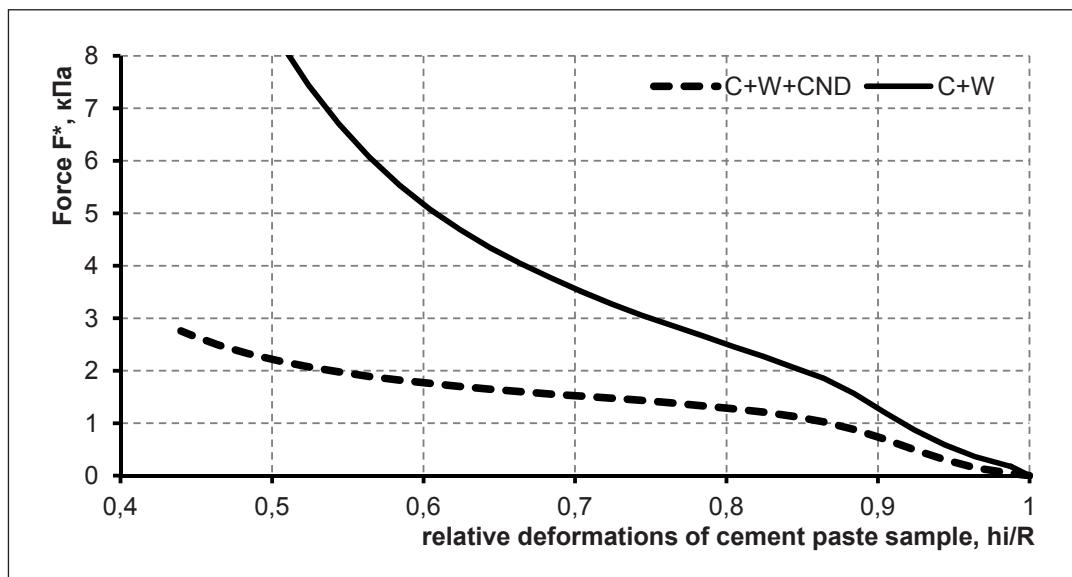
phenomena. With the optimal combination of these types of the control, it is possible to ensure the minimization of the energy intensity and the duration of the hardening process, which is essential for reducing energy costs and the duration of hardening processes in the technological life cycle of cement-based composites.

3.2.2. Properties of cement systems

We found out from (Fig. 6) that with the introduction of CND, the load value and, correspondingly, the plastic yield value K_i , decreased by 2 times, which are necessary for the transition of systems with the same concentration of the dispersed phase ($W/C = \text{const}$) from the state of stability («plastic phase» according to N. Roussel [13]) to the state of viscoplastic yield («perfect plastic response phase» [29]). For cement paste C+W plastic yield value $K_i = 1.65 \text{ kPa}$, for C+W+CND $K_i = 0.84 \text{ kPa}$.

The effect of CND is associated with the synergistic effect of the plasticizer and SiO_2 nanoparticles. The ductility of the cement paste is determined by the quantity and strength of coagulation contacts. The introduction of a plasticizer into a «cement+water» dispersed system affects the surface phenomena at the phase boundary and molecular interactions between cement particles.

When a cement paste structure is formed in the presence of a plasticizer, a monomolecular plasticizer layer is formed on the surface of the cement particles. As a result, the level of the free interfacial energy at the phase boundary decreases the particles decreases. SiO_2 nanoparticles contribute to the intensification of the processes of dissolution and hydrolysis of clinker minerals, the increase in the ionic strength of the solution, which contributes to the destruction and reduction of the viscosity of the dispersion medium. Thus, with the introduction of CND, the ductility of the cement paste increases and its yield during mechanical stresses is facilitated, which is essential for

Fig. 6. Tested cement pastes rheological curves $F^*(h/R)$

the processes of flow and casting in the technological life cycle of cement-based composites.

In the course of the experiments, when assessing the effect of the nano-modification of the structure on the strength, the above two additives in dosages of 0.01% and 1% by mass of the cement were studied [6]. In the case of the use of the complex additive of nanoparticles SiO_2 in combination with a superplasticizer (CND), close to the limiting strength values are achieved for compositions with different dosages by the 3rd day of hardening.

The use of CND allows us to provide 70% of the strength of the values achieved for 28 days, for 1 day. For the option of dosing an additive of 0.01%, an increase in the limiting values of strength up to 90 MPa against 50 MPa in the control «additive-free» system is noted. Such a difference is explained by the modifying effect of the additive on the dispersed and morphological composition of the hydration products, which acquire a nano-dispersed and cryptocrystalline state. This is precisely in accordance with the well-known theory of «fine grain» of Rebinder P.A. and the pattern of Hall–Petch and determines the higher resistance to the destruction of the modified structure.

A similar situation occurs with the addition of carbon nanotubes at a dosage of 0.01%. However, the kinetics of strength in this variant of a nano-modification is noticeably different in that in the early stages of hardening, the curing is slower: achieving 70% of strength of its values at the age of 28 days is provided in this variant for 7 days, and for 1 day cement paste gains only 20%. Another difference concerns the ultimate strength value, which is 80 MPa. Based on this data, it can be observed that the introduction of an additive into carbon nanotubes is less

effective in comparison with the addition of nanoscale particles of SiO_2 , and above all in terms of the kinetic parameters of hardening strength.

Based on the results of the experiments, we should specifically dwell on the question of the strength kinetics for the variants with the dosage of additives of 1% by weight of the cement. With this dosage, an accelerated increase in strength in the initial (1–3 days) hardening periods is also noted. However, no increase in strength is noted in the subsequent periods and it remains at 35–40 MPa, which is lower than the values for the control «additive-free» composition. It can be assumed that, at an elevated dosage, the so-called «poisoning» of the system occurs when excessively accelerated hydration of cement and crystallization of new hydration products leads to the development of self-destructive crystallization pressure.

Thus, it was shown that the effect of a nano-modification of cement paste in relation to strength is that it hardens faster in the early stages of the structure formation and becomes more durable when the curing process is completed. This is the basis for a reduction in overall terms of hardening and refusal of heat treatment of cement based composites in the technological life cycle.

4. CONCLUSIONS

We experimentally confirmed the nano-modification effects associated with the catalytic role of nanoparticles in cement hydration processes, with a change in the morphology of hydration products, with zoning and clustering of the hardened cement paste microstructure. As a result, the introduction of various types of nanoadditives into cement systems contributes to the acceleration

of cement hydration processes by 9–28 times, and the increase in strength by 1.5–2 times. At the same time, with the introduction of complex nano-modifiers based on SiO_2 nanoparticles and superplasticizer, the ductility of the cement paste increases and its flow during me-

chanical stresses is facilitated. All the established effects of the nano-modification are essential for facilitating the processes of flow and casting, reducing energy costs and the duration of hardening processes in the technological life-cycle of cement based composites.

REFERENCES

1. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review. *Construction and Building Materials*. 2010. V. 24. Pp. 2060–2071. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014).
2. Reches Y. Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. *Construction and Building Materials*. 2018. V. 175. Pp. 483–495. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214).
3. Paul S. C., Rooyen A. S., Gideon P.A.G. van Zijl et al. Properties of cement – based composites using nanoparticles: A comprehensive review. *Construction and Building Materials*. 2018. V. 189. Pp. 1019–1034. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.062](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.062).
4. Norhasri M.S., Hamidah M.S., Fadzil A.M. Applications of using nano material in concrete: A review. *Construction and Building Materials*. 2017. V. 133. Pp. 91–97. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005).
5. Rai S., Tiwari S. Nano Silica in Cement Hydration. *Materials Today*. 2018. V. 5. Pp. 9196–9202. [DOI: 10.1016/j.matpr.2017.10.044](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.10.044).
6. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Concepts and bases of technology nanomodification of the structures of building composites. Part 3: effective nano-modification of cement hardening systems and hardened cement paste structure (criteria and conditions). *Construction Materials*. 2015. № 10. Pp. 54–64. DOI: 10.31659/0585-430X-2015-730-10-54-63. (In Russian).
7. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of systems of hardening in the structure of construction composites. Voronezh: Scientific book, 2016. (In Russian).
8. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. Effectiveness of Combined Nanoadditives for Cement Systems. *Inorganic Materials*. 2017. V. 53. Pp. 1080–1085. [DOI: 10.1134/S0020168517100028](https://doi.org/10.1134/S0020168517100028).
9. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Shvedova M.A. Effectiveness of nanotubular additives in the modification of cement systems. *Inorganic Materials*. 2020. V. 56. Pp. 105–110. [DOI: 10.1134/S0020168520010021](https://doi.org/10.1134/S0020168520010021).
10. Artamonova O.V. Synthesis of nanomodifying additives for construction composites technology. Voronezh: VGASU, 2016. (In Russian).
11. Melikhov I.V. Physical and chemical evolution of the solid. Moscow: BINOM, A laboratory of Knowledge, 2009. (In Russian).
12. Bullard J., Livingston J., et al. Mechanisms of cement hydration. *Cement and Concrete Research*. 2011. V. 41. Pp. 1208–1223. [DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.09.011](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011).
13. Toutou Z., Roussel N., Lanos C. The squeezing test: A tool to identify firm cement-based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability. *Cement and Concrete Research*. 2005. V. 35. Pp. 1891–1899. [DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.09.007](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.007).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy M. Chernishov, Doctor of Engineering, Prof., Director of the Research Institute, Academy of Development of the Building Complex, Voronezh State Technical University, Acad RAASN, Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0129-6363>, e-mail: chem@vgasu.vrn.ru

Olga V. Artamonova, Doctor of Engineering, Prof. Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9157-527X>, e-mail: ol_artam@rambler.ru

Galina S. Slavcheva, Doctor of Engineering, Prof. Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8800-265>, e-mail: gslavcheva@yandex.ru

Author declare the absence of any competing interests.

Received: 21.04.2020.

Revised: 06.06.2020.

Accepted: 09.06 .2020.



Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла

Е.М. Чернышов , О.В. Артамонова* , Г.С. Славчева

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

* Контакты: e-mail: ol_artam@rambler.ru

РЕЗЮМЕ: В статье рассматриваются теоретические основы принципов наномодифицирования строительных композитов и концептуальные модели наномодифицирования с точки зрения эволюционного маршрута образования твердой фазы в зависимости от кинетики гетерогенных процессов. В работе определены основные факторы наномодифицирования цементных систем твердения на всех этапах технологической стадии жизненного цикла в соответствии с эволюционным маршрутом. Влияние наноразмерных частиц (НРЧ) как одного из главных факторов заключается в следующих механизмах их действия: а) непосредственное химическое участие НРЧ в гетерогенных процессах фазообразования гидратных соединений, б) катализическая роль НРЧ как центров кристаллизации, в) повышение плотности упаковки системы сложения дисперсных частиц, г) зонирование структуры твердения. Обоснованы концепции и арсенал средств наномодифицирования в технологиях строительных композитов. С целью оценки эффективности принципов наномодифицирования исследованы кинетика гидратации, фазовый состав, микроструктура, реология и прочностные характеристики цементных систем твердения. Показано, что использование наномодификаторов повышает пластичность цементного теста, ускоряет процессы гидратации цемента в 9–28 раз и повышает прочность цементного камня в 1,5–2 раза. Все это позволяет снизить производственные затраты на всех стадиях технологического цикла получения цементных композитов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наномодифицирование, наночастицы, эволюционный маршрут, технологический жизненный цикл, свойства цементных композитов.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review. Construction and Building Materials. 2010. V. 24. Pp. 2060–2071. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014).
2. Reches Y. Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. Construction and Building Materials. 2018. V. 175. Pp. 483–495. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214).
3. Paul S. C., Rooyen A. S., Gideon P.A.G. van Zijl et al. Properties of cement – based composites using nanoparticles: A comprehensive review. Construction and Building Materials. 2018. V. 189. Pp. 1019–1034. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.062](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.062).
4. Norhasri M.S., Hamidah M.S., Fadzil A.M. Applications of using nano material in concrete: A review. Construction and Building Materials. 2017. V. 133. Pp. 91–97. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005).
5. Rai S., Tiwari S. Nano Silica in Cement Hydration. Materials Today. 2018. V. 5. Pp. 9196–9202. [DOI: 10.1016/j.matpr.2017.10.044](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.10.044).
6. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 3. Эффективное наномодифицирование систем твердения цемента и структуры цементного камня (критерии и условия) // Строительные материалы. – 2015. – № 10. – С. 54–64. DOI: 10.31659/0585-430X-2015-730-10-54-63. (In Russian).

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

7. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование систем твердения в структуре строительных композитов (монография). – Воронеж. Научная книга, 2016. – 132 с.
8. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. Effectiveness of Combined Nanoadditives for Cement Systems. Inorganic Materials. 2017. V. 53. Pp. 1080–1085. [DOI: 10.1134/S0020168517100028](https://doi.org/10.1134/S0020168517100028).
9. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Shvedova M.A. Effectiveness of nanotubular additives in the modification of cement systems. Inorganic Materials. 2020. V. 56. Pp. 105–110. [DOI: 10.1134/S0020168520010021](https://doi.org/10.1134/S0020168520010021).
10. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов (монография). – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. – 100 с.
11. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. – 309 с.
12. Bullard J., Livingston J., et al. Mechanisms of cement hydration. Cement and Concrete Research. 2011. V. 41. Pp. 1208–1223. [DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.09.011](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011).
13. Toutou Z., Roussel N., Lanos C. The squeezing test: A tool to identify firm cement-based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability. Cement and Concrete Research. 2005. V. 35. Pp. 1891–1899. [DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.09.007](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.007).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чернышов Евгений Михайлович, д-р техн. наук, профессор, директор научно-исследовательского института Академии развития строительного комплекса, Воронежский государственный технический университет, академик РААСН, Воронеж, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0129-6363>, e-mail: chem@vgasu.vrn.ru

Артамонова Ольга Владимировна, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9157-527X>, e-mail: ol_artam@rambler.ru

Славчева Галина Станиславовна, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры строительных материалов, изделий и конструкций, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8800-265>, e-mail: gslavcheva@yandex.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 22.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 06.06.2020.

Статья принята к публикации: 09.06.2020.



Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part III

L.A. Ivanov^{1*} , A.V. Demenev² , Zh.V. Pisarenko³ , Q. Wang⁴ 

¹ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

² Russian State University of Tourism and Service; Cherkizovo, Moscow region, Russia

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

⁴ China University of Petroleum, Qingdao, China

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

ABSTRACT: The article provides an abstract review of patents. The results of creative activity of scientists, engineers and specialists, including inventions in the field of nanotechnology and nanomaterials, being implemented, allow achieving a significant effect in construction, housing and community services, and related sectors of the economy. For example, the invention «Raw mixture for production of fine-grained polymer concrete modified by microsilica» refers to construction and can be used in manufacture of nanomodified concretes based on potentially chemically reactive coarse and/or fine filler for transport, industrial and civil construction. Modification of cement stone structures by means of microsilica made of silica production wastes and acrylic dispersion will make it possible to intensify hydration of binder, to reduce cement consumption and to increase strength characteristics of final product compared to traditional concrete mixtures. The invention can be used to produce concrete articles and structures, flagstones, decorative borders, to arrange top layers of road beds and to repair them when it is required, as well as to fill cracks and as a filler in sealing joints.

The specialists can also be interested in the following inventions in the area of nanotechnologies: nanomodified high-strength light concrete, combined heat-insulating system, composite layered self-healing material, a method to produce metal/carbon nanocomposites, an electrochemical method to produce nanosized powder of metal silicide, a method to produce metal-polymer nanocomposite materials with metal nanoparticles et al.

KEYWORDS: nanotechnologies in construction, fine-grained polymer concrete, nanomodified high-strength light concrete, metal/carbon nanocomposites, nanosized powder.

FOR CITATION: Ivanov LA., 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.

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

Raw mixture for production of fine-grained polymer concrete modified by microsilica (RU 2711169 C1)

The invention refers to construction and can be used in manufacture of nanomodified concretes based on

potentially chemically reactive coarse and/or fine filler for transport, industrial and civil construction [1]. The technical result is increased strength, frost resistance and quality of concrete and reduced energy consumption in manufacturing process at the same time. The technical result is achieved due to the fact that raw mixture used in production of fine-grained polymer concrete, modified by microsilica, contains Portland cement M500, nanodispersed additive, sand, polymer (latex), water, according to invention, contains microsilica MK-95 as a nanodispersed additive, acrylic dispersion ВДСМ-КИ-01-01 (latex) as polymer, a mixture of high-silica sand fractions as a filler. Ratio of raw mixture components is given in the table 1.

Modification of cement stone structures by means of microsilica made of silica production wastes and acrylic

dispersion will make it possible to intensify hydration of binder, to reduce cement consumption and to increase strength characteristics of final product compared to traditional concrete mixtures. The invention can be used to produce concrete articles and structures, flagstones, decorative borders, to arrange top layers of road beds and to repair them when it is required, as well as to fill cracks and as a filler in sealing joints.

Table 1

Raw mixture components	mass. %
Portland cement M500	from 20,8 to 21,0
Microsilica MK-95	from 2,1 to 3,1
Sand, fraction 2,5 - 3 mm	from 62,8 to 63,3
Acrylic dispersion ВДСМ-КИ-01-01 (latex)	from 0,10 to 0,13
Water	from 12,7 to 13,0

Nanomodified high-strength light concrete (RU 2718443 C1)

The invention refers to the industry of construction materials and can be used in manufacture of articles in civil and industrial construction, cast-in-situ construction, erection of special buildings [2]. The technical result is obtaining high-strength light concrete with high module of elasticity and at the same time saved (increased) weight strength. Nanomodified high-strength concrete possesses average density 1300...1510 kg/m³; compressive strength 50,5...65,8 MPa; weight strength 38,8...43,6 MPa; crack resistance coefficient 0,084...0,085; module of elasticity 6,10...8,22 GPa, Poisson's ratio 0,093...0,136.

The technical result is obtaining high-strength light concrete with high module of elasticity and at the same time saved (increased) weight strength. The technical result is achieved due to the following technology: high-strength light concrete contains Portland cement, filler, plasticizer and water, as well as mineral part that consists of microsilica which average size of particles is 0,01...1 um; rock dust (it is an outcome of grinding silica sand or other rock with silica content) with specific surface area 750 m²/kg and silica sand fraction 0,16–0,63 mm; hyperplasticizers on the basis of polycarboxylate are used as plasticizers; fillers are hollow aluminum silicate microspheres; additionally there is a nanosized modifier on the surface of the hollow microspheres. This nanosized modifier is a colloidal solution of silica sol and ferrum (III) hydroxide sol with particle size less than 30 nm, in which concentration of silicic acid in the form H₂SiO₃ is 3,02%.

To prepare concrete Portland cement, for example, brand CEM I 42,5 N according to GOST 31108-2003

is used. Mineral part that contains graded silica sand (fr. 0,16–0,63 mm) according to GOST 8739-93, rock dust with specific surface 750 m²/kg and microsilica provide filling of intergranular openings of filler, forming dense structure.

Aluminum silica full microspheres are used as a filler as their characteristics decreases average density. These microspheres are carriers of nanomodifier, that makes it possible, on the one side, to distribute it in the volume of composite, on another side – to use chemical activity of its components locally, in phase boundary «cement stone – microsphere».

A method to produce silicone dioxide capsules on the surface of inorganic nanoparticles (RU 2715531 C2)

The invention refers to the area of composite nano-materials. A method to produce material that contains silicone dioxide capsules on the surface of inorganic nanoparticles has been developed [3]. The method involves chemical precipitation of silicone dioxide from sodium metasilicate solution that contains inorganic nanoparticles. Nanoparticles are dispersed in water under ultrasound impact, sodium metasilicate with concentration 0,001–0,1 mol/liter is introduced into suspension of aqueous solution, when mixing hydrochloric acid solution is added if concentration and volume of hydrochloric acid solution is equal to concentration and volume of sodium metasilicate solution. Then all that is cured under 8 hours mixing, centrifugated, washed out and dried.

The obtained technical result is the possibility to produce silicone dioxide capsules on the surface of inorganic nanoparticles in aqueous suspension using method of chemical precipitation from the solution. Sodium metasilicate dissolved in aqueous phase of suspension of nanoparticles involved in precipitation is used as a precursor for obtaining silicone dioxide capsules. Thickness of silicone dioxide layer can vary in dependence of process parameters, from several units to hundreds of nanometers. Nanoparticles of inorganic compounds of metals of different shape can be used as cores.

Combined heat-insulating system (RU 2717456 C1)

The invention refers to combined heat-insulating systems and to the methods to install them [4]. Combined heat-insulating system possesses insulation layer, not necessary reinforcing one, applied on insulation layer, and an external layer applied on insulation layer or on reinforcing layer if it is available. The system differs in a way that an external layer contains composite particles that possess at least one organic polymer as organic polymer phase and at least one inorganic hard substance which particles are distributed in organic polymer phase. At this mass frac-

tion of inorganic hard substance is from 15 to 40 mass.% calculated as total mass of organic polymer and inorganic hard substance in composite particle, and the size of composite particles is from 5 to 5000 nm. The method of thermal insulation of outer facades provides for installing mentioned above heat-insulating system on the outer façade. Application of composite particles as composite covering dispersion which size is 5–5000 nm and contain at least one organic polymer as organic polymer phase and at least one inorganic solid substance which particles are distributed in organic polymer phase, when building mentioned above combined heat-insulation systems. Technical result is increased mechanical loading – shock resistance, formation of stable barrier and saved shock resistance.

Composite layered self-healing material (options) (RU 2710623 C1)

The invention refers to layered composites (options) that are able to restore independently its integrity after caused mechanical damages (self-healing ability). The layered composites are used to manufacture structures that are needed to be protected from defects, in particular, to manufacture structures with inner atmosphere, for example, for hermetic objects [5]. In the first option a composite layered self-healing material contains two external flexible layers and a composite layer. The composite layer consists of organosiloxane matrix and a filler. There is a layer of boron-siloxane oligomer and polymer between composite layer and external flexible layer. At the same time external flexible layers comprise material similar to organosiloxanes. In another option composite material contains two composite layers and two flexible external layers. The first composite layer connects to the first external flexible layer, and the second composite layer connects to the second external flexible layer. External flexible layers involve material similar to organosiloxanes. In another option composite material contains two composite layers and two flexible external layers. There are two layers on the basis of boron-siloxane oligomer or polymer separated by bound layer between two composite layers. External flexible layers also comprise material similar to organosiloxanes.

The technical result of the invention is the ability of composite layered materials to self-heal for the short time, within the order of several seconds, with long-lasting healing effect. The proposed structures of layered self-healing composite material could provide both self-healing properties and required phisicomechanical characteristics that allow using these structures under extreme conditions, for example, when protection from damages is needed or urgent repair is impossible or delayed.

A method to produce metal/carbon nanocomposites (RU 2715655 C2)

The invention refers to the industry, construction, agriculture, medicine and can be used in production of catalysts, active additives and agents [6]. 3d metal oxide used as a metal-containing substance and polyvinyl alcohol with molecular mass no more than 80 000 are mechano-chemically mixed in triturating machine spending energy no less than 220 kJ/mole until oxidation-reduction process starts. Then obtained xerogel is stage heated until formation of nanograngular that involves metal-containing clusters with the size up to 50 nm, associated with carbon coating on which delocalized electrons are determined. Ratio of components is 2–4 moles of polyvinyl alcohol to 1 mole of copper oxide, or 3–6 moles of polyvinyl alcohol to 1 ferrum oxide, or 4–6 moles of polyvinyl alcohol to 1 mole of nickel oxide.

The technical effect of the invention is a method to produce metal/carbon nanocomposites with specified atomic magnetic moment of 3d metal in nanocomposite that exceeds atomic magnetic moment of the 3d metal crystal and possesses high chemical activity.

A method of electrochemical obtaining nanosized powder of metal silicide (RU 2718022 C1)

The invention refers to obtaining nanosized powder of metal silicide. An electrolyte consisting of alkali metal halide and metallic salt and consumed micron sized components in the form of metal and silica powders are placed into hermetic crucible and are heated to the temperature of metal silicide synthesis above electrolyte melting point with obtaining ion melt in argon or carbon dioxide [7]. To transfer metal to silica in ion melt with formation of nanosized powder of metal silicide, it is necessary to provide anionic and cationic composition of ion melt with electrochemical potential of metal, which is more negative than silica potential, by value $>0,5$ V. Hardened electrolyte with formed powder is extracted from the crucible, grinded and exposed to hydrometallurgical treatment with obtaining nanosized powder of metal silicide. That provides electrochemical obtaining of nanosized powder of metal silicide.

It is also possible to use powders of metal and silica of micron size as consumed components with further heating up to process temperature above electrolyte melting point in hermetic crucible in argon or carbon dioxide atmosphere. That allows obtaining ion melt in which electrochemical transport reaction by means of target spontaneous transfer of metals as well as silica by their ions through ion melt without electrolysis makes it possible to perform synthesis of metal silicide powder with specified size. Running of electrochemical transport reactions in ion melt leads to transition of metal and sil-

ica into the melt and controlled maintenance of anionic and cationic composition of ion melt in dependence of electrochemical potentials ratio of metal and silica leads to transfer of metal to silica, that allows obtaining powders of metal silicide of specified size. When silica is transferred to metal the mechanism of synthesis is the same one used in industrial technologies, that allows performing synthesis of powders of metal silicide of micron sizes.

A method to obtain ultrapure hydrogen by steam reforming of ethanol (RU 2717819 C1)

The invention refers to the area of catalyst and reactors development for chemical and petrochemical industry, in particular to processes of dehydration and steam reforming of lower aliphatic alcohols to obtain ultrapure hydrogen, suitable for use in fuel cells [8]. A method involves introduction of mixture of ethanol and water steam into membrane-catalytic reactor, steam reforming of ethanol under increased temperature on metal-containing catalyst with simultaneous removal of formed ultrapure hydrogen through water selective membrane of palladium-containing alloy such as permeate, blowing-off of ultrapure hydrogen with gas-carrier and retentate removal. At this alloy of 93,5 mass.% Pd, 0,5 mass.% Ru, 6,0 mass.% In is used as Palladium-containing alloy, and an alloy selected from Pd–Ru and Pt–Ru if the content of the second element is 10 mass.% and applied on powders of detonative nanodiamonds is used as a catalyst. Steam reforming of ethanol is performed under temperature 380–650°C and pressure 1–3 atm with removal of retentate as additional product – hydrogen-containing gas. The technical result is increased output of hydrogen suitable for application on fuel cells and simultaneous softening of reaction conditions as well as increased membrane operating life.

Bubble electrospinning device (CN208309015U)

The utility model discloses a bubble electrospinning device, including gear motor, receive roller, high voltage power supply, solution tank, still include pump, pressure dissolved air vessel, air compressor, distributor and feed tank, the distributor is installed in the solution tank bottom, installs the release head on the distributor, receives the roller setting and directly over solution tank, receives the axle of roller and gear motor's hub connection, the receipt roller passes through wire ground connection, the anodal of high voltage power supply is connected bottom the distributor, the pressure dissolved air vessel top is connected bottom feed tank through the import pipeline, is equipped with the pump on the import pipeline, and the pressure dissolved air vessel bottom is connected with the distributor through the export pipeline, and the outlet

pipe is equipped with manometer, valve and flowmeter on the road, and pressure dissolved air vessel passes through in the lower rightcorner gas -supply pipe and is connected with air compressor. The utility model discloses an adopt pressure gas dissolving's mode to dissolve the mode gassing that stepped down and release in the backin the feed liquid with the air, the bubble volume of production is small, has effectively reduced the nanofiber's of production diameter. [9].

Filtering material based on a layer of polymer nanofibers and spinning solution to produce it (RU 2718786 C)

The technical result of the family of inventions is the achieved efficiency of filtering from dust microparticles with size 0,3–0,4 µm and aerosols within the range 85–95% under high air permeability 180...250 mm/sec, under 200 Pa and durability of filter material as well as reliable joint between polymer nanofiber (nanomembrane) and prefilter dust accumulator that allows goffering of filter material without break of large fabric and doesn't allows membrane flaking from prefilter.

The set technical problem and technical result are achieved due to the following mechanism. According to the first invention, to produce polymer nanofiber in spinning solution that contains a mixture of two polymer materials at least in organic solutions by means of capillar-free electroforming, one of the polymer materials, which is a binder, should have softening temperature lower than that of the rest polymer materials. Additionally, the mixture contains surface active agent, foam suppressant and viscosity stabilizer, and surface active agent can be polyethyleneglycol mono (tetramethylbutanol) phenyl ether or poluoxyethylensorbitan monooleate or a mixture of mono- and diethers of phosphoric acid and ethoxylated alcohols, ratio of components is given in the table 2:

Table 2
Mixture components ratio

Components	mass. %
Polymer materials	from 8 to 15
Polyethyleneglycol mono (tetramethylbutanol) phenyl or poly-oxyethylene sorbitan monolayrate or mixture of mono- and diester of phosphoric acid and ethoxylate alcohols	from 0,15 to 0,25
Foam suppressor	from 0,1 to 0,15
Viscosity stabilizer	from 0,05 to 0,10
Organic solvent	the rest

Preparation method of cathode material LiVPO4F for nanofibrous lithium ion battery (CN108821256A)

The invention relates to a preparation method of cathode material LiVPO4F for a nanofibrous lithium ion battery, and belongs to the technical field of lithium-ion batteries. The specific preparation method of the LiVPO4F material is as follows: adding a lithium source, a vanadium source, a fluorine source, a phosphorus source, a reducing agent and a coated carbon source into an organic solvent according to proportions to form mixed liquid; then heating and stirring the mixed liquid to enable V<3+> to be quickly and completely reduced into V<3+> and forming a green solution; setting the operating voltage and feeding speed of electrostatic spinning equipment and then carrying out electrostatic spinning to obtain a nanofibrous LiVPO4F precursor; finally, putting the nanofibrous LiVPO4F precursor in a non-oxidizing atmosphere for carrying out high temperature sintering and naturally cooling to room temperature, thus obtaining the nanofibrous LiVPO4F cathode material. The preparation method disclosed by the invention has the advantages of simplicity, short process flow, easiness in control and facilitation of industrialization; the obtained material has special morphology of an intersected three-dimensional nanofibrous shape, so that the electrochemical property of the material is significantly improved [11].

A plant to produce nanostructured composite multifunctional coatings made of detail surface shape memory material (RU 2718785 C1)

The invention refers to the plant to produce nanostructured composite multifunctional coatings made of detail surface shape memory material [12]. The technical result of the invention is prolonged service life of the plant. Prolonged service life of the plant is achieved due to additional powder dose mechanical activator fixed on the frame and jointed to vacuum camera box of diffusion pump. The powder dose mechanical activator is rigidly fixed in cooling hood. The powder dose mechanical activator contains metal mixer connected to electric motor installed in the upper part of the mechanical activator. The lower part of the mechanical activator which is connected to flame burner by means of transport line of the shape-memory effect powder contains metal grading screen in which hole size is 5 μm . One side of the middle part of the body of powder dose mechanical activator is fixed on the side surface of control unit by means of two fasteners and adapter sleeve used to supply inert gas is connected to gas bottle containing inert gas. The opposite side of powder dose mechanical activator contains another adapter sleeve connected to vacuum pump with vacuum tube.

The installation of the powder dose mechanical activator to grind sprayed shape-memory effect powder makes

it possible to eliminate oxidation process for sprayed material due to mechanical activation, grinding and sifting (with grading screen) with instant and simultaneous supply of it into gas-flame burner for spraying. All that decreases probability of formation of conglomerate of multicomponent powders which often clog flame burner and as a result that leads to impossibility to spray (rubber burning-out in flame burner) and to shortened service life of it.

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

- A method to produce metal-polymer nanocomposite materials with metal nanoparticles [13].
- A method to obtain nanostructured composite material on the basis of aluminium [14].
- A method to obtain film copper-containing nanocomposite materials for protection of metal products from corrosion [15].
- A method to produce fireproof wood-polymer composites on the basis of secondary polyolefine [16].
- A method to evaluate aggregation of nanoparticles in colloidal solutions [17].
- Symmetric four-pair cable with film-nanotube and micro-tube perforated cable-core insulation [18].
- Construction structural element [19].
- A coating with low reflectivity, a method and a system for covering base plate [20].
- Bright monomeric near-infrared (NIR) fluorescent proteins (FPs) as protein tags for multicolor microscopy and in vivo imaging [21].
- Discovery of new properties of well-known magnetic materials. This is particularly noticeable in the case of heavy rare earth metals, where a high degree of purity and absence of impurities can lead to the appearance of new magnetic phases and phase transitions [22].
- Elastic conductive film on the basis of silver nanoparticles [23].
- Electrostatic spun nanofibrous membrane of controlled-release growth factors and esophageal membrane-coated memory stent [24].

CONCLUSION

One of the most challenging tasks the economy of every country face is to increase industrial competitiveness through technological upgrade. From the side of the state and companies the principal object to control in this process are the people and enterprises dealing with introduction of inventions and new technologies.

Therefore, we hope that the information published in this section will be in demand and useful for specialists.

REFERENCES

1. Balabanov V.B., Putsenko K.N. Patent 2711169 RF C1. Raw mixture for production of fine-grained polymer concrete modified by microsilica. 2020. Bul. No. 2. (In Russian)
2. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Patent 2718443 RF C1. Nanomodified high-strength light concrete. 2020. Bul. No. 10. (In Russian).
3. Yurtov E.V., Sertsova A.A., Marakulin S.I., Dobrovolsky D.S. Patent 2715531 RF C2. A method to produce silicone dioxide capsules on the surface of inorganic nanoparticles. 2020. Bul. No. 7. (In Russian)
4. Khashemadze A., Asbek P., Tse Kh., Binert Kh. Patent 2717456 RF C1. Combined heat-insulating system. 2020. Bul. No. 9. (In Russian)
5. Sitnikov N.N., Khabibulina I.A., Rizakhanov R.N. Patent 2710623 RF C1. Composite layered self-healing material. 2019. Bul. No. 1. (In Russian)
6. Kodolov V.I., Trineeva V.V., Mustakimov R.V. et al. Patent 2715655 RF C2. A method to produce metal/carbon nanocomposites. 2020. Bul. No. 7. (In Russian)
7. Leontiev L.I., Lisin V.L., Petrova S.A. et al. Patent 2718022 RF C1. an electrochemical method to produce nanosized powder of metal silicide. 2020. Bul. No. 10. (In Russian)
8. Mironova E.Yu., Ermilova M.M., Orehkova N.V., Yaroslavtsev A.B. Patent 2717819 RF C1. A method to obtain ultrapure hydrogen by steam reforming of ethanol. 2020. Bul. No. 9. (In Russian)
9. Guojun J., YIBO, J.; DONG, NI. Bubble electrospinning device CN208309015U. [英文]. Zhejiang College Of Zhejiang Univ Technology. 2018.06.04.
10. Khrustitsky V.V., Khrustitsky K.V., Kossovich L.Yu. Patent 2718786 RF C1. Filtering material based on a layer of polymer nanofibers and spinning solution to produce it. 2020. Bul. No. 11.
11. Changling, F., Weihua, ZH., Zheng, W., QIyuan, LI, Shaochang, H. Preparation method of cathode material LiVPO4F for nanofibrous lithium ion battery. CN108821256A. [英文]. University of Hunan. 2018.06.24.
12. Rusinov P.O., Blednova Zh.M. Patent 2718785 RF C1. A plant to produce nanostructured composite multifunctional coatings made of detail surface shape memory material. 2020. Bul. No. 11.
13. Ivanov LA., 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).
14. Bagramov P.X., Evdokimov I.A. Patent 2716965 RF C1. A method to obtain nanostructured composite material on the basis of aluminium. 2020. Bul. No. 8. (In Russian).
15. Dzhardimalieva G.I., Kydralieva K.A., Kurochkin S.A. et al. Patent 2716464 RF C1. A method to obtain film copper-containing nanocomposite materials for protection of metal products from corrosion. 2020. Bul. № 8. (In Russian).
16. Ivanov LA., Razumeev K.E., Bokova E.S., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part V. Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 6, pp. 719–729. [DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729).
17. Alenichev M.K., Drozhennikova E.B., Levin A.D., Nagaev A.I. Patent 2714751 RF C1. A method to evaluate aggregation of nanoparticles in colloidal solutions. 2020. Bul. No. 5. (In Russian).
18. Portnov E.L. Patent 2714686 RF C1. Symmetric four-pair cable with film-nanotube and micro-tube perforated cable-core insulation. 2020. Bul. No. 5. (In Russian).
19. Ivanov LA., Prokopiev P.S. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part III. Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 292–303. [DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303).
20. March N.U., Shan Dr. N., Bustos-Rodrigues S., Yensen B.P., Crossley O. Patent 2717561 RF C2. A coating with low reflectivity, a method and a system for covering base plate. 2020. Bul. No. 9. (In Russian).
21. Matlashov, M.E., Shcherbakova, D.M., Alvelid, J.b, Baloban, M., Pennacchietti, F.b, Shemetov, A.A., Testa, I. A set of monomeric near-infrared fluorescent proteins for multicolor imaging across scales. – Nature Communications. – 11(1).239. – 2020. – [DOI: 10.1038/s41467-019-13897-6](https://doi.org/10.1038/s41467-019-13897-6).
22. Gimaev, R.R., Zverev, V.I., Mello, V.D. Magnetic properties of single-crystalline terbium and holmium – Experiment and modeling Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – Vol. 505. – July, 2020. – [DOI: 10.1016/j.jmmm.2020.166781](https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166781).
23. Ivanov L.A., Demenev A.V., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part II. Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 2, pp. 175–185. [DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-175-185](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-2-175-185).
24. Xinjian W., Weixing, ZH. Electrostaticspun nanofibrous membrane of controlled-release growth factors and esophageal membrane-coated memory stent. CN109172073A. [英文]). 2018.09.03.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Aleksey V. Demenev, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Higher school of service, Russian State University of Tourism and Service; Cherkizovo, Moscow region, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1573-6665>, e-mail: saprmgus@mail.ru

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

Qiang Wang, Doctor of Environmental Science, Professor, China University of Petroleum, Management Faculty, Department of Management Science, Qingdao, Shandong People's Republic of China, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8751-8093>, e-mail: wangqiang7@upc.edu.cn

All authors declare the absence of any competing interests.

Received: 27.04.2020.

Revised: 22.05.2020.

Accepted: 28.05.2020.



Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III

Л.А. Иванов^{1*} , А.В. Деменев² , Ж.В. Писаренко³ , Ц. Ванг⁴

¹ Российская инженерная академия, г. Москва, Россия

² Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Россия

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

⁴ Китайский нефтяной университет, г. Циндао, Китай

*Контакты: e-mail: L.a.ivanov@mail.ru

РЕЗЮМЕ: В статье проводится в реферативной форме обзор изобретений. 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 «Сыревая смесь для изготовления мелкозернистого полимербетона, модифицированного микрокремнеземом» относится к строительной отрасли и может найти применение при изготовлении наномодифицированных бетонов на основе потенциально реакционноспособных крупного и/или мелкого заполнителя для транспортного, промышленного и гражданского строительства. Модифицирование структуры цементного камня посредством микросилики из отходов кремниевого производства и дисперсии акриловой позволит интенсифицировать гидратацию вяжущего, сократить расход цемента и повысить прочностные характеристики конечного продукта, по сравнению с традиционными бетонными смесями. Изобретение может быть использовано для изготовления бетонных изделий и конструкций, тротуарной плитки, бордюров, для устройства верхних слоев дорожного полотна и их последующем ремонте, а также для ремонта трещин и в качестве заполнителя соединительных швов.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: наномодифицированный высокопрочный легкий бетон, комбинированная теплоизоляционная система, композиционный слоистый самозалечивающийся материал, способ получения металл-углеродных нанокомпозитов, способ электрохимического получения наноразмерного порошка силицида металла, способ получения металлполимерных нанокомпозиционных материалов с наночастицами металлов и др.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии в строительстве, мелкозернистый полимербетон, наномодифицированный высокопрочный легкий бетон, металл-углеродные нанокомпозиты, наноразмерный порошок.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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.

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

Сыревая смесь для изготовления мелкозернистого полимербетона, модифицированного микрокремнеземом (RU 2711169 C1)

Изобретение относится к строительной отрасли и может найти применение при изготовлении наномодифицированных бетонов на основе потенциальн

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

но реакционноспособных крупного и/или мелкого заполнителя для транспортного, промышленного и гражданского строительства [1]. Технический результат заключается в повышении прочности, морозостойкости и качества бетона при снижении энергоемкости производства. Технический результат достигается тем, что сырьевая смесь для изготовления мелкозернистого полимербетона, модифицированного микрокремнеземом, включающая портландцемент М500, нанодисперсную добавку, песок, полимер (латекс), воду, согласно изобретению, содержит в качестве нанодисперсной добавки – микрокремнезем МК-95, в качестве полимеров – дисперсию акриловую ВДСМ-КИ-01-01 (латекс), в качестве заполнителя – смесь фракций кварцевого песка. Соотношение компонентов сырьевой смеси приведено в табл. 1.

Таблица 1
Соотношение компонентов сырьевой смеси

Компоненты сырьевой смеси	мас. %
Портландцемент М500	от 20,8 до 21,0
Микрокремнезем МК-95	от 2,1 до 3,1
Песок, фр. 2,5–3 мм	от 62,8 до 63,3
Дисперсия акриловая ВДСМ-КИ-01-01 (латекс)	от 0,10 до 0,13
Вода	от 12,7 до 13,0

Модифицирование структуры цементного камня посредством микросилики из отходов кремнеземового производства и дисперсии акриловой позволит интенсифицировать гидратацию вяжущего, сократить расход цемента и повысить прочностные характеристики конечного продукта, по сравнению с традиционными бетонными смесями. Изобретение может быть использовано для изготовления бетонных изделий и конструкций, тротуарной плитки, бордюров, для устройства верхних слоев дорожного полотна и их последующем ремонте, а также для ремонта трещин и в качестве заполнителя соединительных швов.

Наномодифицированный высокопрочный легкий бетон (RU 2718443 С1)

Изобретение относится к промышленности строительных материалов и может быть использовано для изготовления изделий в гражданском и промышленном строительстве, монолитном строительстве, при возведении сооружений специального назначения [2]. Техническим результатом изобретения является получение высокопрочного легкого бетона с высоким модулем упругости при сохранении (повы-

шении) удельной прочности. Наномодифицированный высокопрочный легкий бетон обладает средней плотностью 1300...1510 кг/м³; пределом прочности при сжатии 50,5...65,8 МПа; удельной прочностью 38,8...43,6 МПа; коэффициентом трещиностойкости 0,084...0,085; модулем упругости 6,10...8,22 ГПа, коэффициентом Пуассона 0,093...0,136.

Техническим результатом изобретения является получение высокопрочного легкого бетона с высоким модулем упругости при сохранении (повышении) удельной прочности. Технический результат достигается тем, что высокопрочный легкий бетон содержит портландцемент, наполнитель, пластификатор и воду, а также минеральную часть, состоящую из микрокремнезема, имеющего средний размер частиц 0,01...1 мкм, каменной муки (продукт измельчения кварцевого песка или другой горной породы, содержащей кремнезем) с площадью удельной поверхности 750 м²/кг и кварцевого песка фракции 0,16–0,63 мм, в качестве пластификатора используются гиперпластификаторы на поликарбоксилатной основе, наполнителем выступают полые алюмосиликатные микросфера, дополнительно на поверхности полых микросфер содержится наноразмерный модификатор, представляющий собой коллоидный раствор золя кремневой кислоты и золя гидроксида железа (III) с размером частиц менее 30 нм, где концентрация кремневой кислоты в форме H₂SiO₃ составляет 3,02%,

Для приготовления бетона используются портландцемент, например, марки СЕМ I 42,5 N по ГОСТ 31108-2003. Минеральная часть, в состав которой входит кварцевый песок фракционированный (фр. 0,16–0,63 мм), соответствующий ГОСТ 8739-93, каменная мука с удельной поверхностью 750 м²/кг и микрокремнезем, обеспечивают заполнение межзерновых пустот наполнителя, образуя плотную структуру.

В качестве наполнителя используются алюмосиликатные полные микросфера, характерные свойства которых обеспечивают снижение средней плотности. Указанные микросфера являются носителем наномодификатора, что позволяет с одной стороны распределить его по объему композита, а с другой – использовать химическую активность его составляющих локализовано, на границе раздела фаз «цементный камень – микросфера».

Способ получения оболочек диоксида кремния на поверхности неорганических наночастиц (RU 2715531 С2)

Изобретение относится к области создания композиционных наноматериалов. Предложен способ получения материала, содержащего оболочки диок-

сида кремния на поверхности неорганических наночастиц [3]. Способ включает химическое осаждение диоксида кремния из раствора метасиликата натрия, содержащего неорганические наночастицы. Наночастицы диспергируют в воде воздействием ультразвука, вводят в суспензию водного раствора метасиликата натрия с концентрацией 0,001–0,1 моль/литр, добавляют при перемешивании раствор соляной кислоты при концентрации и объеме раствора соляной кислоты, эквивалентных концентрации и объему раствора метасиликата натрия. Выдерживают при перемешивании в течение 8 часов, центрифицируют, промывают и сушат.

Техническим результатом, достигаемым при использовании настоящего изобретения, является возможность получения оболочек диоксида кремния на поверхности неорганических наночастиц в водной суспензии методом химического осаждения из раствора, в качестве прекурсора для получения оболочек диоксида кремния используется метосиликат натрия, растворенный в водной фазе суспензии наночастиц, на которых происходит осаждение. Толщина получаемого слоя диоксида кремния может регулироваться в зависимости от параметров проведения процесса от нескольких единиц до сотен нанометров. В качестве ядер могут быть использованы наночастицы неорганических соединений металлов различной формы.

Комбинированная теплоизоляционная система (RU 2717456 C1)

Изобретение относится к комбинированным теплоизоляционным системам и способу их сооружения [4]. Комбинированная теплоизоляционная система, имеющая изоляционный слой, необязательно армирующий слой, нанесенный на изоляционный слой, и наружный слой, нанесенный на изоляционный слой или на армирующий слой при его наличии, отличающаяся тем, что наружный слой содержит композиционные частицы, которые содержат по меньшей мере один органический полимер в качестве органической полимерной фазы и по меньшей мере одно неорганическое твердое вещество, частицы которого распределены в органической полимерной фазе, при этом массовая доля неорганического твердого вещества составляет от 15 до 40 мас.% в пересчете на общую массу органического полимера и неорганического твердого вещества в композиционной частице, а размер композиционных частиц составляет от 5 до 5000 нм. Способ теплоизоляции наружных фасадов зданий, заключающийся в креплении указанной выше комбинированной теплоизоляционной системы к наружному фасаду здания. Применение композиционных частиц в качестве

композиционной покрывающей дисперсии, которые обладают размером от 5 до 5000 нм и содержат по меньшей мере один органический полимер в качестве органической полимерной фазы и по меньшей мере одно неорганическое твердое вещество, частицы которого распределены в органической полимерной фазе, при сооружении указанных выше комбинированных теплоизоляционных систем. Технический результат – повышение механической нагруженности – ударопрочности, образование стабильного барьера при сохранении ударопрочности.

Композиционный слоистый самозалечивающийся материал (варианты) (RU 2710623 C1)

Изобретение относится к слоистым композитам (варианты), обладающим способностью самостоятельно восстанавливать свою целостность после причиненных им механических повреждений (самозалечиваться), применяются для изготовления конструкций, которым необходима защита от возникновения дефектов, в частности для изготовления конструкций с внутренней атмосферой, например, для герметичных объектов [5]. В одном варианте исполнения композиционный слоистый самозалечивающийся материал содержит два внешних гибких слоя и композитный слой. Композитный слой состоит из органосиликсановой матрицы и наполнителя. Между композитным слоем и внешним гибким слоем содержится слой из борсилоксанового олигомера или полимера. При этом внешние гибкие слои включают материал, обладающий сродством к органосилоксанам. В другом варианте композиционный материал содержит два композитных слоя и два внешних гибких слоя. Первый композитный слой связан с первым внешним гибким слоем, а второй со вторым внешним гибким слоем. Между двумя композитными слоями содержится слой из борсилоксанового олигомера и полимера. Внешние гибкие слои включают материал, обладающий сродством к органосилоксанам. Еще в одном варианте композиционный материал содержит два композитных и два внешних гибких слоя. Между двумя композитными слоями содержатся два слоя на основе борсилоксанового олигомера или полимера, разделенные барьерным слоем. Внешние гибкие слои также включают материал, обладающий сродством к органосилоксанам.

Технический результат изобретения заключается в том, что композиционные слоистые материалы обладают способностью быстро самозалечиваться за небольшой промежуток времени, порядка нескольких секунд, с долговременным сохранением эффекта залечивания. Предлагаемые структуры слоистого самовосстановливающегося композици-

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

онного материала способны обеспечить получение, как свойств самозалечивания, так и необходимых физико-механических характеристик, позволяющих использовать данные конструкции в жестких внешних условиях, например, когда необходима защита от повреждений, а оперативный ремонт затруднителен или невозможен.

Способ получения металл-углеродных нанокомпозитов (RU 2715655 С2)

Изобретение относится к промышленности, строительству, сельскому хозяйству, медицине и может быть использовано при изготовлении катализаторов, активных добавок и присадок [6]. Металлодержащее вещество, в качестве которого используют оксида 3d металла, и поливиниловый спирт с молекулярной массой не более 80000 механохимически смешивают в механической ступке при затрате энергии не менее 220 кДж/моль до начала окислительно-восстановительного процесса. Затем проводят ступенчатый нагрев полученного ксерогеля до образования наногранулы, включающей металлодержащие кластеры размером до 50 нм, ассоциированные с углеродной оболочкой, на которой определены делокализованные электроны. Соотношение компонентов составляет 2–4 моля поливинилового спирта на 1 моль оксида меди, или 3–6 молей поливинилового спирта на 1 моль оксида железа, или 4–6 молей поливинилового спирта на 1 моль оксида никеля.

Технический эффект изобретения заключается в создании способа получения металл-углеродных нанокомпозитов с заданным атомным магнитным моментом 3d металла в нанокомпозите, превышающим атомный магнитный момент кристалла 3d металла, обладающих высокой химической активностью.

Способ электрохимического получения наноразмерного порошка силицида металла (RU 2718022 С1)

Изобретение относится к получению наноразмерного порошка силицида металла. Загружают в герметичный тигель электролит, состоящий из галогенида щелочного металла и соли металла, и расходуемые компоненты микронных размеров в виде порошков металла и кремния, производят нагрев до рабочих температур синтеза силицида металла выше точки плавления электролита с получением ионного расплава в атмосфере аргона или углекислого газа [7]. Для переноса в ионном расплаве металла на кремний с образованием наноразмерного порошка силицида металла обеспечивают анионно-катионный состав ионного расплава с электрохимическим потенциалом металла, более отрицательным, чем потенциал

кремния, на величину >0,5 В. Застывший электролит с образовавшимся порошком извлекают из тигля, измельчают и подвергают гидрометаллургической обработке с получением наноразмерного порошка силицида металла. Обеспечивается электрохимическое получение наноразмерного порошка силицида металла.

Использование в качестве расходуемых компонентов порошков металла и кремния микронных размеров с последующим нагревом до рабочих температур выше точки плавления электролита в герметичном тигле в атмосфере аргона или углекислого газа позволяет получить ионный расплав, в котором с использованием электрохимических транспортных реакций путем направленного самопроизвольного переноса как металлов, так и кремния их ионами через ионный расплав без электролиза возможно проведение синтеза порошка силицида металла заданного размера. Протекание электрохимических транспортных реакций в ионном расплаве приводит к переходу металла и кремния в расплав, а контролируемое поддержание анионно-катионного состава ионного расплава в зависимости от соотношения электрохимических потенциалов металла и кремния приводит либо к переносу металла на кремний, что позволяет получить порошки силицида металла заданной крупности. При переносе кремния на металл механизм синтеза тот же, что и в промышленных технологиях, что позволяет синтезировать порошки силицидов металлов микронных размеров.

Способ получения сверхчистого водорода паровым риформингом этанола (RU 2717819 С1)

Изобретение относится к области создания катализаторов и реакторов для химической и нефтехимической промышленности, а именно к процессам дегидрирования и парового риформинга низших алифатических спиртов с целью получения высокочистого водорода, пригодного для использования в топливных элементах [8]. Способ включает ввод в мембранный-кatalитический реактор смеси этанола и водяного пара, паровой риформинг этанола при повышенной температуре на металлодержащем катализаторе с одновременным выводом образующегося сверхчистого водорода через водородселективную мембрану из палладийодержащего сплава как пермеата, сдувку сверхчистого водорода газом-носителем и вывод ретентата. Причем в качестве палладийодержащего сплава используют сплав 93,5 мас.% Pd, 0,5 мас.% Ru, 6,0 мас.% In, а в качестве катализатора – сплав, выбранный из Pd–Ru и Pt–Ru при содержании второго компонента 10 мас.%, нанесенный на порошок детонационных наноалмазов. Паровой риформинг этанола проводят при темпе-

ратурах 380–650°С и давлении 1–3 атм с выводом ретентата как дополнительного продукта – водородсодержащего газа. Технический результат заключается в повышении выхода водорода, пригодного для применения в топливных элементах, при одновременном смягчении условий реакции и увеличении срока службы мембранны.

Установка электроспиннинга для получения нановолокон (CN208309015U)

Полезная модель раскрывает устройство электроспиннинга для получения нановолокон, включающее: зубчатый двигатель, приемный ролик, высоковольтный источник питания, резервуар для раствора, насос, напорный воздушный сосуд, воздушный компрессор, распределитель и наполнительный бак. Распределитель установлен в нижней части резервуара, затем устанавливается выпускная головка на распределителе, ролик непосредственно над резервуаром для раствора, ось соединения ступицы ролика и зубчатого двигателя, приемный ролик проходит через соединение заземления провода, анод высоковольтного источника питания соединен с нижним распределителем, верхняя часть сосуда распределения давления соединена с нижним питающим баком через внешний трубопровод, оснащенный насосом на входящем трубопроводе, а сосуд для распределения давления соединен с распределителем через выходящий трубопровод, выпускная труба оснащена манометром, клапаном и расходомером, сосуд распределения давления соединяется посредством нижней правой трубы подачи газа и соединяется с воздушным компрессором. Полезная модель дает возможность использовать режим растворения газа в жидкости под давлением с образованием пузырьков малого объема, что эффективно для уменьшения диаметра нановолокон [9].

Фильтрующий материал на основе слоя полимерных нановолокон и прядильный раствор для его получения (RU 2718786 C)

Техническим результатом группы изобретений является обеспечение эффективности фильтрации от пылевых микрочастиц и аэрозолей размерами 0,3–0,4 мкм в пределах 85–95% при высокой воздухопроницаемости 180...250 мм/с при 200 Па и прочности фильтрующего материала, а также надежного соединения слоя полимерного нановолокна (наномембранны) с предфильтром-накопителем загрязнений, позволяющего осуществлять гофрирование фильтрующего материала без разрывов крупных полотен и не допускать отслаивания наномембранны от предфильтра.

Поставленная техническая проблема и технический результат достигаются тем, что в прядильном растворе для получения полимерного нановолокна бескапиллярным электроформованием, содержащем смесь, по крайней мере, двух полимерных материалов в органических растворителях, согласно первому изобретению, по крайне мере один из полимерных материалов, являющийся связующим, имеет температуру начала размягчения ниже, чем температуры плавления всех остальных полимерных материалов, смесь дополнительно содержит поверхностно-активное вещество, пеногаситель и стабилизатор вязкости, причем в качестве поверхностно-активного вещества выбран полиэтиленгликоль моно (тетраметилбутанол) фениловый эфир или полиоксиэтиленсорбитан моноолеат или смесь моно- и диэфиров фосфорной кислоты и этоксилированных спиртов, соотношение компонентов приведено в табл. 2.

Таблица 2
Соотношение компонентов смеси

Компоненты	мас. %
Полимерные материалы	от 8 до 15
Полиэтиленгликоль моно (тетраметилбутанол) фениловый эфир или полиоксиэтиленсорбитан моноолеат или смесь моно- и диэфиров фосфорной кислоты и этоксилированных спиртов	от 0,15 до 0,25
Пеногаситель	от 0,1 до 0,15
Стабилизатор вязкости	от 0,05 до 0,10
Органический растворитель	остальное

Способ получения катодного материала LiVPO4F для нановолокнистого литий-ионного аккумулятора (CN108821256A)

Изобретение относится к способу получения катодного материала LiVPO4F для нановолокнистого литий-ионного аккумулятора. Специфический способ изготовления материала LiVPO4F заключается в следующем: добавление лития, ванадия, фтора, фосфора, восстановителя и покрытого углеродного источника в органический растворитель в соответствии с пропорциями; нагрев и перемешивание раствора для быстрого и полного восстановления V<5+> в V<3+> и формирования зеленого раствора; установка рабочего напряжения и скорости подачи; проведение электростатического спиннинга для получения нановолокнистого предшественника LiVPO4F. Следующий этап – установка предшественника LiVPO4F в неокислительной атмосфере для

проведения высокотемпературного спекания и естественного охлаждения до комнатной температуры с получением таким образом нановолокнистого катодного материала LiVPO4F. Новый способ получения обладает простотой, коротким технологическим процессом, легкостью в управлении и процессе производства; полученный материал имеет особую морфологию пересекающейся трехмерной нановолокнистой формы, благодаря чему электрохимические свойства материала значительно улучшаются [11].

Установка для получения наноструктурированных композитных многофункциональных покрытий из материала с эффектом памяти формы на поверхности детали (RU 2718785 C1)

Изобретение относится к установке для получения наноструктурированных композитных многофункциональных покрытий из материала с эффектом памяти формы [12]. Техническим результатом изобретения является увеличение срока эксплуатации установки. Увеличение срока эксплуатации установки достигается за счет дополнительной установки, прикрепленного к раме и соединенного с корпусом вакуумной камеры диффузионного насоса, а также жестко закрепленного в кожухе для охлаждения порошкового дозатора-механоактиватора, внутри которого размещена металлическая мешалка, сообщенная с электродвигателем, установленным в верхней части корпуса дозатора-механоактиватора, в нижней части корпуса дозатора-механоактиватора, которая связана посредством линии транспортировки порошка с ЭПФ с газопламенной горелкой, установлено металлическое сито с размером отверстий 5 мкм, при этом с одной стороны средняя часть корпуса дозатора-механоактиватора закреплена на боковой поверхности блока управления посредством двух крепежных элементов, и через штуцер для подачи инертного газа связана с газовым баллоном с инертным газом, а с другой противоположной стороны дозатора-механоактиватора размещен штуцер, который через вакуумный шлаг сообщен с вакуумным насосом.

Установка дозатора-механоактиватора для измельчения напыляемого порошка с эффектом памяти формы позволяет исключить процесс окисления напыляемого материала, за счет осуществления его механической активации, измельчения и просева (при помощи сита) с моментальной и одновременной его подачей в газопламенную горелку для напыления, что позволяет снизить вероятность образования конгломератов порошков из многокомпонентных сплавов, способствующих забиванию

газопламенной горелки и как следствие невозможности напыления (прогоранию резиновых уплотнений в горелке) и сокращению срока ее эксплуатации.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Способ получения металлполимерных нанокомпозиционных материалов с наночастицами металлов [13].
- Способ полученияnanoструктурного композиционного материала на основе алюминия [14].
- Способ получения пленочных медьсодержащих нанокомпозиционных материалов для защиты металлопродукции от коррозии [15].
- Способ получения огнестойких древесно-полимерных композитов на основе вторичных полиолефинов[16].
- Способ оценки агрегации наночастиц в коллоидных растворах [17].
- Симметричный четырехпарный кабель с пленко-нанотрубчатой и микротрубчатой перфорированной изоляцией жил [18].
- Строительный конструкционный элемент [19].
- Покрытие с низкой отражательной способностью, способ и система для покрытия подложки [20].
- Получение ярких мономерных флуоресцентных белков ближнего инфракрасного диапазона (NIR) для белковых меток при многоцветной микроскопии и визуализации *in vivo* [21].
- Исследование новых свойств известных магнитных материалов (тяжелых редкоземельных металлов, где высокая степень чистоты и отсутствие примесей может привести к появлению новых магнитных фаз и фазовых переходов) [22].
- Эластичная проводящая пленка на основе наночастиц серебра [23].
- Электростатическая нановолокнистая мембрана контролируемого высвобождения факторов роста и стент памяти с мембранным покрытием [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанов В.Б., Пуценко К.Н. Патент 2711169 РФ МПК C1. Сырьевая смесь для изготовления мелкозернистого полимербетона, модифицированного микрокремнеземом / 2020. Бюл. № 2.
2. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Патент 2718443 РФ МПК C1. Наномодифицированный высокопрочный легкий бетон / 2020. Бюл. № 10.
3. Юртов Е.В., Серцова А.А., Маракулин С.И., Доброльский Д.С. Патент 2715531 РФ МПК C2. Способ получения оболочек диоксида кремния на поверхности неорганических наночастиц / 2020. Бюл. № 7.
4. Хашемзаде А., Асбек П., Це Х., Бинерт Х. Патент 2717456 РФ МПК C1. Комбинированная теплоизоляционная система / 2020. Бюл. № 9.
5. Ситников Н.Н., Хабибуллина И.А., Ризаханов Р.Н. Патент 2710623 РФ МПК C1. Композиционный слоистый самозалечивающийся материал (варианты) / 2019. Бюл. № 1.
6. Кодолов В.И., Тринеева В.В., Мустакимов Р.В. и др. Патент 2715655 РФ МПК C2. Способ получения металлы/углеродных нанокомпозитов / 2020. Бюл. № 7.
7. Леонтьев Л.И., Лисин В.Л., Петрова С.А. и др. Патент 2718022 РФ МПК C1. Способ электрохимического получения наноразмерного порошка силицида металла / 2020. Бюл. № 10.
8. Миронова Е.Ю., Ермилова М.М., Орехова Н.В., Ярославцев А.Б. Патент 2717819 РФ МПК C1. Способ получения сверхчистого водорода паровым рифформингом этанола / 2020. Бюл. № 9.
9. Guojun J., YIBO, J.; DONG, NI. Bubble electrospinning device CN208309015U. [英文]. Zhejiang College of Zhejiang Univ Technology. 2018.06.04
10. Хрустицкий В.В., Хрустицкий К.В., Коссович Л.Ю. Патент 2718786 РФ МПК C1. Фильтрующий материал на основе слоя полимерных нановолокон в прядильный раствор для его получения / 2020. Бюл. № 11.
11. Changling, F., Weihua, ZH., Zheng, W., QIyuan, LI, Shaochang, H. Preparation method of cathode material LiVPO4F for nanofibrous lithium ion battery CN108821256A [英文]. University of Hunan. 2018.06.24.
12. Русинов П.О., Бледнова Ж.М. Патент 2718785 РФ МПК C1. Установка для получения наноструктурированных композитных многофункциональных покрытий из материала с эффектом памяти формы на поверхности детали / 2020. Бюл. № 11.
13. 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).
14. Баграмов Р.Х., Евдокимов И.А. Патент 2716965 РФ МПК C1. Способ полученияnanoструктурного композиционного материала на основе алюминия / 2020. Бюл. № 8.
15. Джардамилиева Г.И., Кыдрадиева К.А., Курочкин С.А. и др. Патент 2716464 РФ МПК C1. Способ получения пленочных медьсодержащих нанокомпозиционных материалов для защиты металлопродукции от коррозии / 2020. Бюл. № 8.
16. Иванов Л.А., Разумеев К.Э., Бокова Е.С., Муминова С.Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 6. – С. 719–729. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729).
17. Аленичев М.К., Дрожженникова Е.Б., Левин А.Д., Нагаев А.И. Патент 2714751 РФ МПК C1. Способ оценки агрегации наночастиц в коллоидных растворах / 2020. Бюл. № 5.
18. Портнов Э.Л. Патент 2714686 РФ МПК C1. Симметричный четырехпарный кабель с пленко-нанотрубчатой и микротрубчатой перфорированной изоляцией жил / 2020. Бюл. № 5.
19. Иванов Л.А., Прокопьев П.С. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 3. – С. 292–303. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303).
20. Марч, Н.У., Шан, Др Н., Бустос-Родригес С., Йенсен Б.П., Кроссли О. Патент 2717561 РФ МПК C2. Покрытие с низкой отражательной способностью, способ и система для покрытия подложки / 2020. Бюл. № 9.
21. Matlashov, M.E., Shcherbakova, D.M., Alvelid, J.b, Baloban, M., Pennacchietti, F.b, Shemetov, A.A., Testa, I. A set of monomeric near-infrared fluorescent proteins for multicolor imaging across scales. – Nature Communications. – 11(1). 239. – 2020. – DOI: [10.1038/s41467-019-13897-6](https://doi.org/10.1038/s41467-019-13897-6).
22. Gimaev, R.R., Zverev, V.I., Mello, V.D. Magnetic properties of single-crystalline terbium and holmium – Experiment and modeling Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – Volume 505. – July, 2020. – DOI: [10.1016/j.jmmm.2020.166781](https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166781).
23. Иванов Л.А., Деменев А.В., Муминова С.Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 2. – С. 175–185. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-2-175-185](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-2-175-185).
24. Xinjian W., Weixing, ZH. Electrostaticspun nanofibrous membrane of controlled-release growth factors and esophageal membrane-coated memory stent. CN109172073A. [英文]). 2018.09.03.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Деменев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Высшая школа сервиса, Российский государственный университет туризма и сервиса; пос. Черкизово, Московская область, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1573-6665>, e-mail: saprmgus@mail.ru

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

Ванг Цян, доктор естественных наук, профессор, Китайский нефтяной университет, факультет менеджмента, Циндао, Шандун, Китайская народная республика, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8751-8093>, e-mail: wangqiang7@upc.edu.cn

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 27.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 22.05.2020.

Статья принята к публикации: 28.05.2020.



The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part II

P. Sikora

West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland;
Technische Universität Berlin, Germany

Corresponding author: e-mail: pawel.sikora@zut.edu.pl

ABSTRACT: This study presents an investigation of the effects of high temperature on the thermal and microstructural properties of cement mortars modified with nanosilica. In the first stage of the research, the effects of nanosilica (NS) and silica fume (SF) on the hydration and compressive strength of cementitious composites were compared. In the second stage, four different types of cement mortars, containing an optimal dosage of NS, were produced. Two of them contained a normal weight aggregate (quartz or limestone), whilst two contained a heavy weight aggregate (barite or magnetite). Specimens without NS were produced for control purposes. The specimens were exposed to 300, 450, 600 and 800°C, with their post-heating properties – including thermal conductivity, specific heat, solvent absorption and cracking behavior – analyzed. The results show that NS exhibits significantly higher reactivity with cement than SF. NS accelerates the cement hydration process and contributes more significantly to the 28 and 365 day compressive strength of mortar, as compared to SF. The incorporation of NS in a composite substantially decreases the amount of CH in the mixture and leads to the production of additional C–S–H gel phase, which improves microstructure. The study also shows that NS contributes to a decrement in the thermal conductivity and density of mortar, both prior to and after heating. The incorporation of NS has a beneficial effect on decreasing the deterioration rate of mortars after heating, by decreasing absorption rate and the amount of cracks in them.

KEYWORDS: cement mortar, nanosilica, elevated temperature, thermal properties, cracking.

ACKNOWLEDGMENTS: Supported by the Foundation for Polish Science (FNP).

FOR CITATION: Sikora P. The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part II. Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12, no. 3, pp. 147–154. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-147-154.

Part I of the paper by P. Sikora «The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures» was published in the journal «Nanotechnologies in Construction» 2020, Vol. 12, no. 2.

RESULTS AND DISCUSSION

3.4. Thermal conductivity and the specific heat of mortars after heating

Fig. 6 presents the results of thermal conductivity (TC) tests, before and after the exposure of specimens to elevated temperature. Since the water to paste ratio volume was fixed for all specimens, the thermal properties of the mor-

tars were mainly related to the type of aggregate used. Directly after heating, the highest thermal conductivity was reported for mortars containing quartz aggregates, which can be attributed to the high crystallinity of quartz aggregate; the next highest thermal conductivity was found to have occurred for the magnetite aggregate. The thermal conductivities of Q0, LS0, M0 and B0 mortars were 2.16, 1.54, 1.82 and 1.05 W/mK, respectively. Despite its high density, the barite aggregate possessed a low TC, meaning

that mortar B0 exhibited a thermal conductivity of 1.05 W/mK; more than twice as low as that of Q0. Incorporation of NS in the mixes resulted in the production of specimens with lower thermal conductivities, with specimens R3, LS3, M3 and B3 exhibiting values of 2.04, 1.46, 1.69 and 0.9 W/mK, respectively. This phenomenon – of the presence of NS decreasing the thermal conductivity of composites – has already been reported by a few researchers, with some authors also arguing that this is one of the factors responsible for improving the thermal resistance of NS-modified specimens [24]. While the exposure of the specimens to elevated temperatures resulted in a gradual decrement in their thermal conductivities, a slightly different trend was observed in the case of magnetite aggregate mortars. Above 300 °C, a loss in thermal conductivity of between 4% to 15% was observed, with the lowest loss occurring for specimen B3 and the highest for R0. After exposure to 450 °C, further losses in thermal conductivity were observed for mortars Q, LS and B, with specimens containing the magnetite aggregate exhibiting only limited losses in TC. This can be attributed to the high thermal stability of magnetite, which is composed mainly of Fe_3O_4 . After exposure to 600 °C, a significant drop in TC was reported in specimens containing the quartz aggregate. This phenomenon can be linked to the crystalline character of this aggregate and its phase transformation [25, 26]. While a difference between the NS and pristine specimen was still visible at up to 600 °C, after exposure to 800 °C the ratio between the specimens vanished almost completely. The residual thermal conductivity values of the specimens are presented in Fig. 7. According to these results, the mortars containing the normal-weight ag-

gregates exhibited the highest thermal conductivity losses with increments in temperature. Furthermore, specimens lost more than 50% of their initial TC after exposure to 800 °C. A significantly lower loss was found to have occurred for specimens containing heavy-weight aggregates.

The results of specific heat tests are presented in Fig. 8. Specific heat is highly susceptible to changes resulting from the physical and chemical processes occurring in aggregates or cement pastes, such as vaporization of free water at about 100 °C or the dissociation of CH at between 400 °C and 500 °C [25]. In general, mortars containing quartz, limestone or barite aggregates exhibited relatively comparable initial specific heats, ranging between 1.62 and 1.82 MJ/m³K, while magnetite aggregate mortars exhibited substantially higher values. Exposure to 300 °C did not result in significant changes in the specific heat values of specimens Q, LS or B, but an increment was observed for the M specimens, up to a temperature of 600 °C. This phenomenon is attributable to the phase transition of magnetite to hematite [27], which occurs during the heating process. In the cases of the other specimens, exposure to 450 °C resulted in a noticeable increment in the specific heats of the LS specimens, while a noticeable reduction occurred for the B specimens. Only a slight increment was observed in the case of the Q specimens. According to the literature, carbonate aggregates such as limestone or dolomite have higher specific heats at higher temperature ranges, because of an endothermic reaction which results from the decomposition of the aggregate. Accordingly, spalling is minimized and the fire resistance of structural components is enhanced [28]. The specific heat increment is highly dependent on the exact chemical

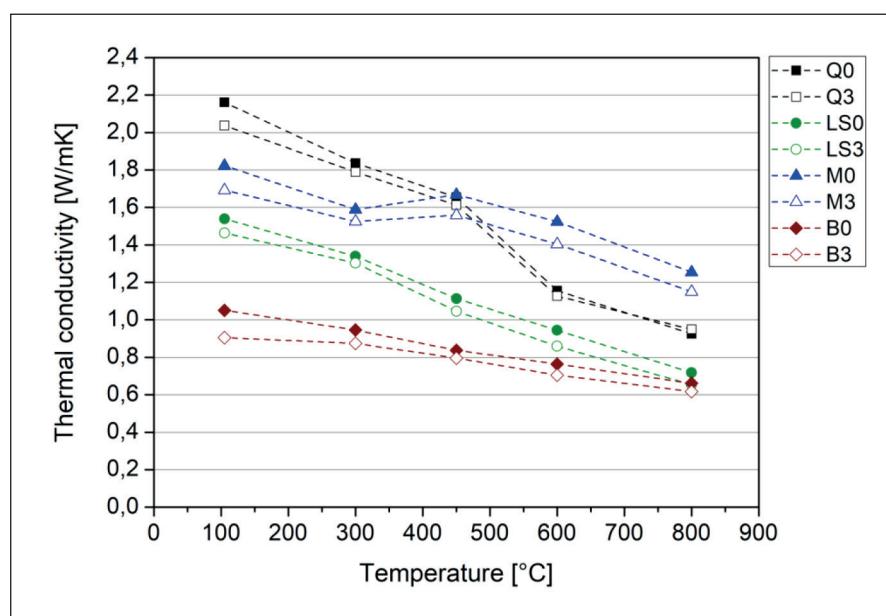


Fig. 6. Thermal conductivity of cement mortars as a function of temperature

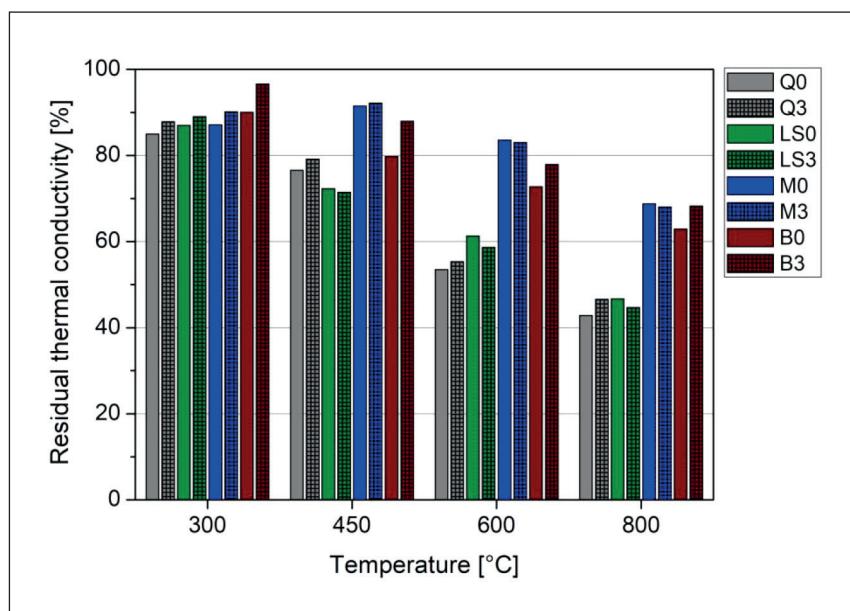


Fig. 7. Residual thermal conductivity of mortars after heating

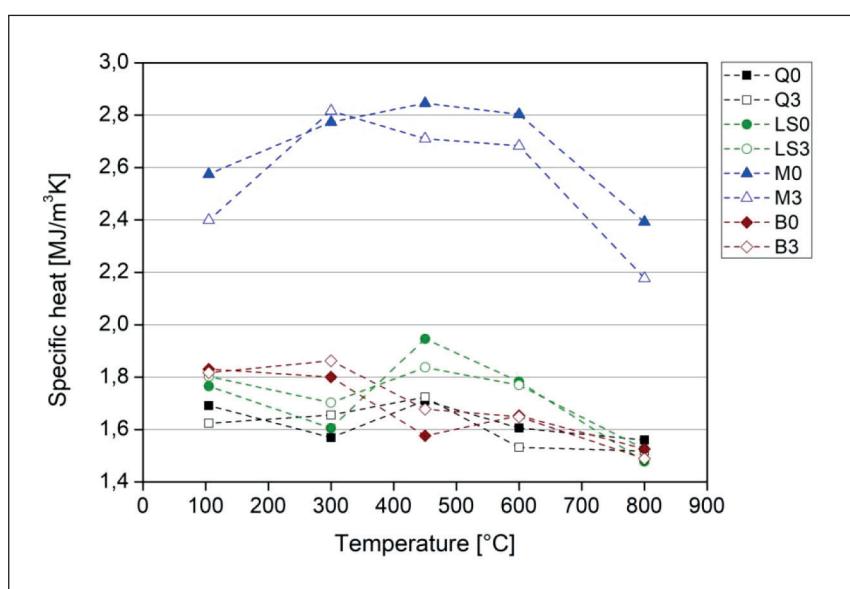


Fig. 8. Specific heat of cement mortars as a function of temperature

composition of the carbonate aggregates and it can occur from 400 to 800 °C, depending on the aggregate [2, 25]. This study has confirmed that LS specimens exhibit higher specific heat values between 450 to 600 °C. In the case of the quartz aggregate, only a slight, indistinct increment in specific heat was seen, which is in line with other studies [25]. After exposure to 800 °C, the specimens exhibited a noticeable drop in specific heat, with specimens Q, LS and B exhibiting comparable values. Based on the results, it is difficult to draw any meaningful conclusions regarding the relationship between the effects of NS and the specific heat of mortars.

3.5. Density after heating

The results of density evolution tests, as a function of heating temperature, are depicted in Fig. 9. The initial oven-dry density of mortars Q0 and LS0 were 2.11 g/cm³ and 2.18 g/cm³, respectively. NS-modified specimens Q3 and LS3 exhibited oven-dry densities of 2.07 g/cm³ and 2.12 g/cm³, respectively. As expected, the density of the mortars containing heavyweight aggregates was significantly higher than those of the mortars containing normal-weight aggregates, as a result of the high density of the aggregates themselves; they were 3.03 g/cm³,

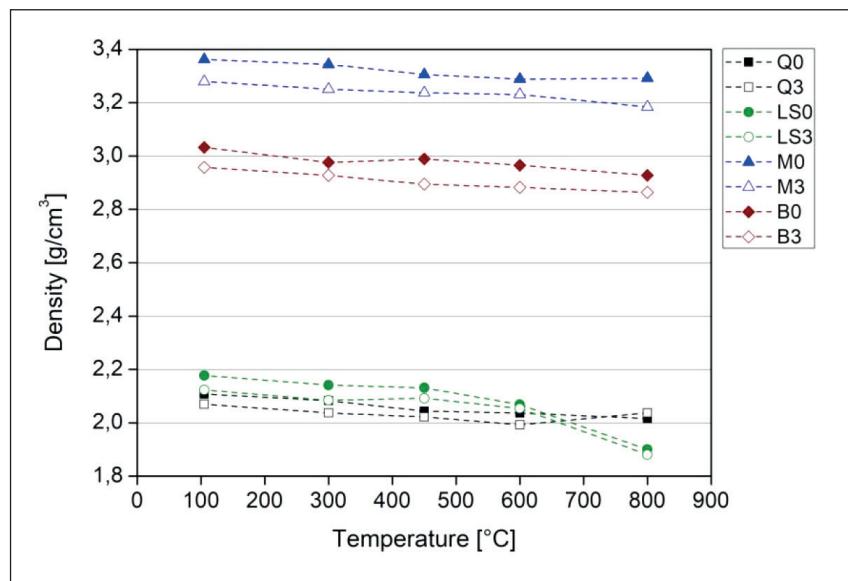


Fig. 9. Density of mortars as a function of temperature

2.96 g/cm³, 3.36 g/cm³ and 3.28 g/cm³ for specimens B0, B3, M0, M3, respectively. NS clearly contributed to a slight decrement in the density of specimens, when added to the mixture. This effect can be attributed to the lower specific gravity of NS, as compared to cement. A similar effect can be observed when SF is incorporated in cementitious-composites, but it is more pronounced as higher dosages of SF are usually used [29]. Exposure to temperature resulted in a gradual decrement in the densities of specimens, as a result of the evaporation of water and the decomposition of the components of the cement matrix. Moreover, density decreased as result of the increase in cracks in the specimens. At up to 800 °C, the density of specimens in mortars containing quartz, barite or magnetite aggregates decreased by up to 5% of the starting density. In distinction to this, a significant density decrement of over 10% was observed in the mortars containing limestone, as a result of the decomposition of this aggregate at such a temperature.

In general, the literature reports that the mass loss in both carbonate and siliceous aggregates, at up to about 600 °C, is minimal. Furthermore, the dissociation of ordinary limestone can start at temperatures as low as about 400 °C [1]. However, beyond 600 °C aggregate decomposition occurs at a rate loss of 44 wt %, corresponding to the stoichiometric CO₂ amount in CaCO₃, thus making significant mass loss a possibility [1, 25, 30]. In the case of heavy-weight aggregates, a gradual decrement in the density of the specimens was found. It was very low in the case of magnetite, due to the superior thermal stability of this aggregates at elevated temperatures. However, the barite specimens exhibited severe

aggregate spalling on their surfaces, thus indicating an increase in mass loss.

3.6. Solvent absorption after heating

Fig. 10 presents the results of acetone absorption by the mortar specimens, after heating. It was found that while acetone has slightly different effects on pore filling than water, the method can nevertheless be successfully applied to provide indirect information on the pore structure deterioration rate, after heating. After exposure to 300 °C, pristine and NS-modified specimens exhibited relatively comparable absorption values, though slightly higher absorption rates were seen for specimens LS3, M3 and B3. This might have been caused by the higher volume of C–S–H gel decomposition in the NS-specimens (Section 4.2). A further rise in temperature resulted in a gradual increment in the porosity of specimens. After exposure to 450 °C, the specimens containing quartz, limestone or barite aggregate exhibited noticeable porosity increments, while mortars containing the magnetite aggregate exhibited only a slight increment. In all cases, the NS-modified specimens exhibited lower acetone absorption than their corresponding pristine specimens. A substantial increment in acetone absorption occurred after exposure to 600 °C. This temperature is known to be detrimental to OPC composites, due to the ongoing decomposition of hydration products, as well as because of the development of thermal incompatibility between the cement paste and the aggregates. A drastic increment in absorption was reported for mortars containing quartz aggregate, followed by those with the limestone aggregate. However, as discussed above, the change in the mass of

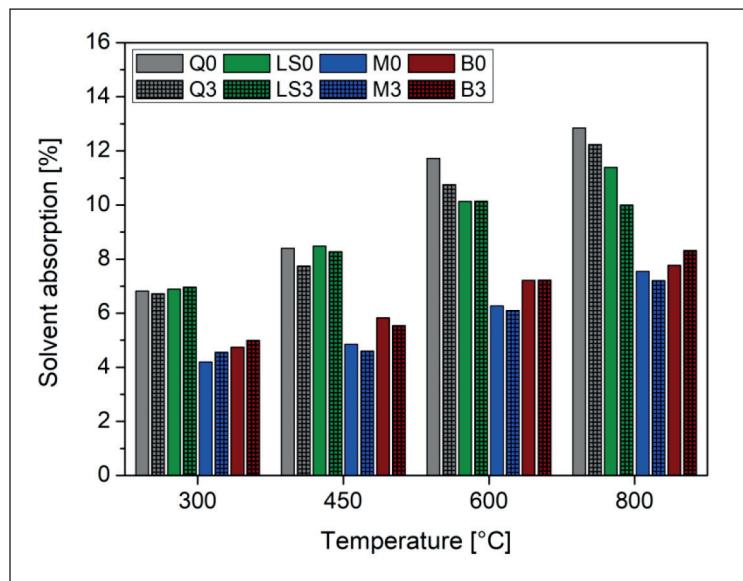


Fig. 10. Acetone absorption of mortars after heating

the aggregates themselves was relatively limited, as the effects of high temperature on quartz aggregate mortars are completely different from those on carbonate aggregate mortars. At a temperature of 600 °C the strain value of quartz aggregate can be up to twice as high as that of carbonate aggregates [1, 26, 28, 30]. This results in micro-cracking, which in turn increases matrix porosity, thereby confirming that carbonaceous aggregates are more resistant to temperature in the medium heating range and that highly crystalline quartz aggregate suffers from serious cracking as a result of its expansion. Surprisingly, after exposure to 800 °C and despite significant mass loss (as reported above) mortars containing quartz aggregate still exhibited higher absorption rates. This might be explained by the fact that quartz specimens underwent much higher micro-cracking than LS-mortars, as a result of thermal expansion. In the case of mortars containing heavy-weight aggregates, a gradual increment in acetone absorption was observed, with the barite aggregate specimens exhibiting higher absorption than the magnetite specimens, with increasing temperature. In addition, when the B3 mortar was exposed to 800 °C, a higher acetone absorption was seen. This phenomenon has been previously reported in study [31], showing that barite aggregates exhibit high water absorption, thus leaving less water available for the cement paste. In the presence of NS, the cement mortar matrix becomes more compacted; together with the high susceptibility of barite aggregates to cracking, this resulted in increased micro-cracking in the specimen. In general, it can be concluded that NS-modified specimens exhibited lower absorption rates than the corresponding pristine mortars, which confirms the MIP findings regarding decrements in composite porosity.

3.7. Visual inspection after 14 days

14 days after exposure to elevated temperature, specimens were inspected visually to assess their deterioration rates. After heating, they were placed in ambient conditions so as to facilitate free contact with atmospheric moisture. As has been reported by many researchers, specimens undergo deterioration when exposed to moisture as a result of rehydration, which leads to cracking and thus a decrease in their mechanical performance with time [3, 32, 33]. No alteration was observed on the surface of mortar specimens at up to 300 °C, which is why no data regarding those instances has been included here. However, narrow and short cracks were found in specimens containing quartz aggregate, after exposure to 450 °C (Fig. 11). The surfaces of mortars containing the barite aggregate were damaged as a result of its thermally induced spalling. This type of aggregate exhibits anisotropic properties, with its thermal expansion varying in different directions; it thus has a tendency to crack with increments in temperature [31]. It is therefore not an appropriate aggregate for use in composites exposed to elevated temperatures.

The surfaces of specimens exposed to temperatures of 600 °C and 800 °C are presented in Figures 12 and 13, respectively. Noticeable cracking of specimens containing quartz, barite and magnetite aggregates is visible after exposure to 600 °C. No deterioration on the surface of the LS mortars is visible, which can be attributed to their low thermal expansion and the satisfactory resistance of the aggregate to temperatures up to 600 °C [25]. Surprisingly, despite the good thermal stability of magnetite, a crack also occurred on the surface of the magnetite mortar, M0,

INTERNATIONAL EXPERIENCE

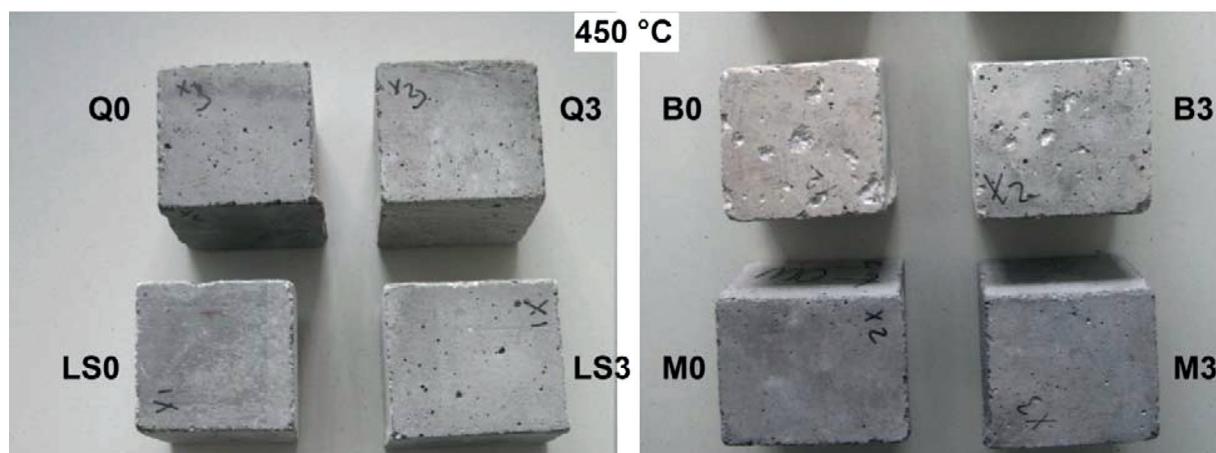


Fig. 11. Visual inspection of the specimens after exposure to 450 °C

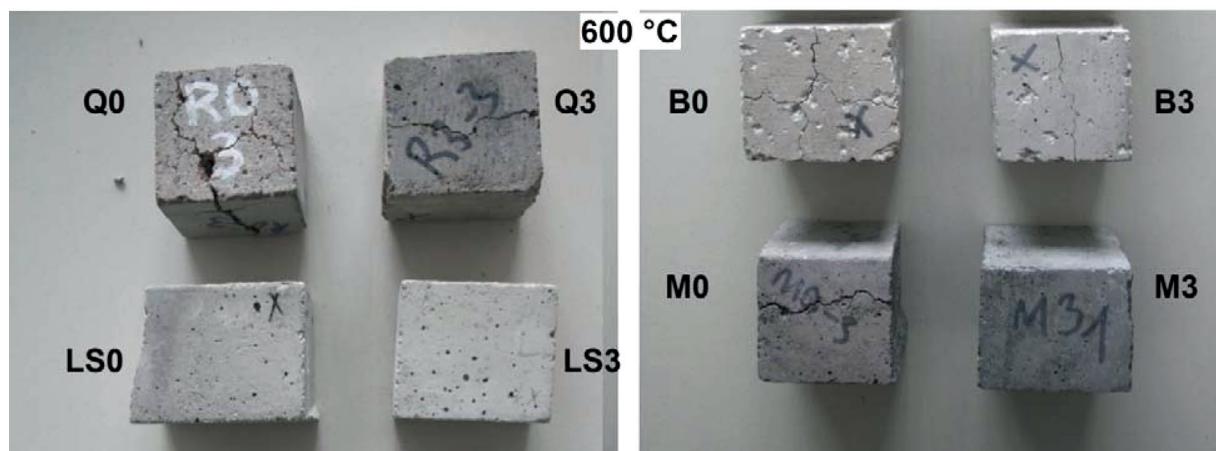


Fig. 12. Visual inspection of the specimens after exposure to 600 °C

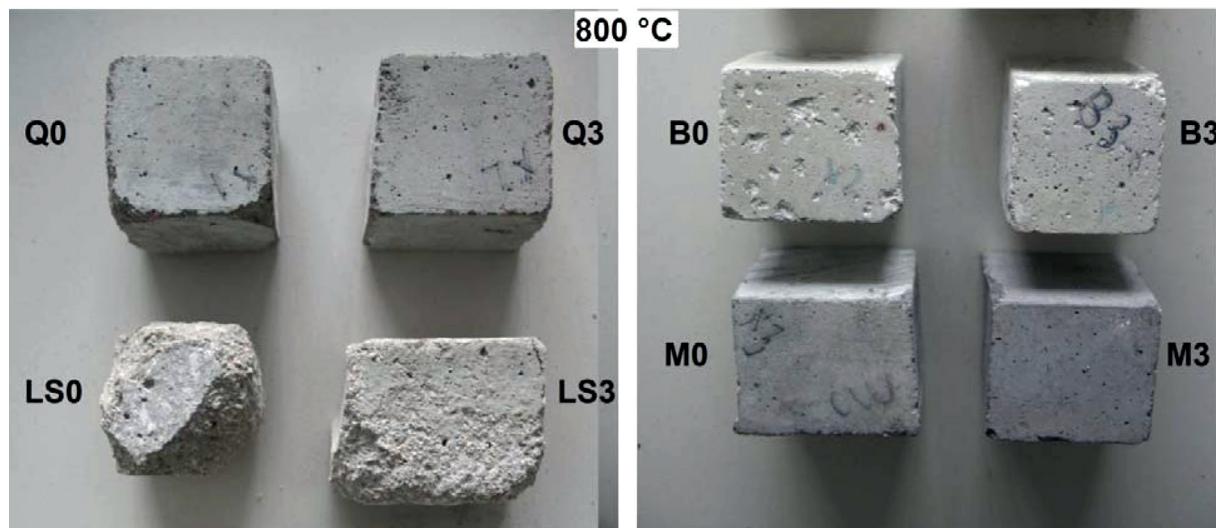


Fig. 13. Visual inspection of the specimens after exposure to 800 °C

after 14 days of exposure. The addition of NS resulted in less surface cracking, with none observed for M3 and only limited cracking in R3 and B3, as compared to R0 and B0. After exposure to 800 °C, damage or the falling of the edges of the Q0 mortars was visible, as well as severe disintegration of the mortars produced with the limestone aggregate. This is attributable to decomposition of the limestone aggregate, followed by rehydration of the CaO formed, which is accompanied by significant expansion. Furthermore, at this heating temperature, specimens containing NS exhibited lower deterioration rates than pristine mortars. Surprisingly, after 14 days, specimens exposed to 600 °C exhibited higher cracking rates than specimens exposed to 800 °C. This can be attributed to the fact that, at a temperature of 600 °C, not all of the hydration products undergo total decomposition, so that specimens' rehydration processes occur more actively during their contact with moisture (i.e. rehydration of CH results in significant cracking). A similar phenomenon, whereby higher surface cracking occurs at lower temperature, has been reported in another study [28]. Overall, it was observed that specimens containing NS decreased the cracking rate, or even protected specimens from cracking, after 14 days of exposure to atmospheric moisture. It has been widely reported that CH has a significant effect on the cracking potential of mortars and therefore that specimens with lower CH contents are more resistant to cracking. The TGA study performed on 28 day old specimens confirmed this phenomenon (see Section 4.2, above). In addition, nanosilica refines microstructure, producing higher amounts of the C–S–H phase and increasing the bonding between cement paste

and aggregate, thus resulting in increased resistance to elevated temperatures.

CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from the present work:

- Nanosilica exhibits higher reactivity with cement than does silica fume. Moreover, in comparison to silica fume, NS accelerates the cement hydration process and contributes more significantly to the 28 and 365 day compressive strength of mortars.
- NS has a substantial effect on decreasing the amount of CH in a mixture and increasing the production of C–S–H gel phase. The incorporation of NS leads to the production of a more compacted and refined microstructure, thus improving mortars' transport and mechanical properties.
- The incorporation of NS results in a decrement in the density of mortars, as well as a reduction in their thermal conductivity, prior to and after exposure to elevated temperatures. No direct correlation between NS and specific heat was established.
- After exposure to elevated temperatures, NS-modified mortars exhibit lower absorption s than mortars without NS. This effect is attributable to NS mortars' more refined microstructures as well as to decreased cracking.
- Due to a decreased amount of CH in NS-modified mortars, they exhibit lower deterioration rates after exposure to elevated temperature; NS is thus beneficial in improving the heat resistance of cementitious composites.

REFERENCES

24. Kumar R., Singh S., Singh L.P. Studies on enhanced thermally stable high strength concrete incorporating silica nanoparticles. *Construction and Building Materials*. 2017, vol. 153, pp. 506–513. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.057](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.057).
25. Naus D.J. A compilation of elevated temperature concrete material property data and information for use in assessments of nuclear power plant reinforced concrete structures. (NUREG/CR-7031). United States Nuclear Regulatory Commission, 2010.
26. Xing Z., Beaucour A-L., Hebert R., Noumowé A., Ledésert B. Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature. *Cement and Concrete Research*. 2011, vol. 41, pp. 392–402. [DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.01.005](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.01.005).
27. Grosu Y., Faik A., Ortega-Fernández I., D'Aguanno B. Natural Magnetite for thermal energy storage: Excellent thermo-physical properties, reversible latent heat transition and controlled thermal conductivity. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2017, vol. 161, pp. 170–176. [DOI: 10.1016/j.solmat.2016.12.006](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.12.006).
28. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. *ISRN Civil Engineering*. 2014, pp. 1–15. [DOI: 10.1155/2014/468510](https://doi.org/10.1155/2014/468510).
29. Xu Y., Chung D.D.L. Cement of high specific heat and high thermal conductivity, obtained by using silane and silica fume as admixtures. *Cement and Concrete Research*. 2000, vol. 30, no. 7, pp. 1175–1178. [DOI: 10.1016/S0008-8846\(00\)00296-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00296-9).
30. Tufail M., Shahzada K., Gencturk B., Wei J. Effect of elevated temperature on mechanical properties of limestone, quartzite and granite concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2017, vol. 11, no. 1, pp. 17–28. [DOI: 10.1007/s40069-016-0175-2](https://doi.org/10.1007/s40069-016-0175-2).

31. Horszczaruk E., Sikora P., Cendrowski K., Mijowska E. The effect of elevated temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica and heavyweight aggregates. *Construction and Building Materials.* 2017, vol. 137, pp. 420–431. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2017.02.003](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.003).
32. Torić N., Boko I., Juradin S., Baloević G. Mechanical properties of lightweight concrete after fire exposure. *Structural Concrete.* 2016, vol. 17, no. 6, pp. 1071–1081. DOI: [10.1002/suco.201500145](https://doi.org/10.1002/suco.201500145).
33. Torić N., Boko I., Peros B. Reduction of postfire properties of high-strength concrete. *Advances in Materials Science and Engineering.* 2013, vol. 712953. DOI: [10.1155/2013/712953](https://doi.org/10.1155/2013/712953).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pawel Sikora, PhD, Assistant Professor, Department of Building Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland; Postdoctoral researcher at Building Materials and Construction Chemistry, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1092-1359>; e-mail: pawel.sikora@zut.edu.pl

Author declare the absence of any competing interests.

Received: 15.03.2020.

Revised: 10.04.2020.

Accepted: 10.04.2020.



Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур. Часть II

П. Сикора

Западно-Поморский технологический университет, Щецин, Польша;
Технический университет, Берлин, Германия

Контакты: e-mail: pawel.sikora@zut.edu.pl

РЕЗЮМЕ: В данной работе представлено исследование влияния высокой температуры на термические и микроструктурные свойства цементных растворов, модифицированных нанокремнеземом. На первом этапе исследования было проведено сравнение влияния нанокремнезема (НС) и диоксида кремния (СФ) на гидратацию и прочность на сжатие цементных композитов. На втором этапе были получены четыре различных вида цементных растворов, содержащих оптимальную дозировку НС. Два из них содержали обычный весовой агрегат (кварц или известняк), в то время как два содержали тяжелый весовой агрегат (барит или магнетит). Образцы без NS были произведены для целей контроля. Образцы подвергались воздействию температур 300, 450, 600 и 800°C, а их постнагревательные свойства – включая теплопроводность, удельную теплоемкость, поглощение растворителя и поведение при растрескивании – анализировались. Полученные результаты показывают, что NS проявляет значительно более высокую реакционную способность с цементом, чем SF. NS ускоряет процесс гидратации цемента и вносит более значительный вклад в 28- и 365-дневную прочность раствора на сжатие по сравнению с SF. Включение NS в композит существенно уменьшает количество СН в смеси и приводит к образованию дополнительной гелевой фазы C-S-H, что улучшает микроструктуру. Исследование также показывает, что НС способствует снижению теплопроводности и плотности раствора как до, так и после нагрева. Включение НС оказывает благоприятное влияние на снижение скорости изнашивания растворов после нагрева, снижая скорость поглощения и количество трещин в них.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цементный раствор, нанокремнезем, повышенная температура, термические свойства, растрескивание.

БЛАГОДАРНОСТИ: При поддержке Фонда польской науки (FNP).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сикора П. Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 147–154. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-147-154.

Часть I статьи П. Сикоры «Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур» опубликована в журнале «Нанотехнологии в строительстве» 2020, Том 12, № 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

24. Kumar R., Singh S., Singh L.P. Studies on enhanced thermally stable high strength concrete incorporating silica nanoparticles. *Construction and Building Materials.* 2017, vol. 153, pp. 506–513. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.057.
25. Naus D.J. A compilation of elevated temperature concrete material property data and information for use in assessments of nuclear power plant reinforced concrete structures. (NUREG/CR-7031). United States Nuclear Regulatory Commission, 2010.
26. Xing Z., Beauchour A-L., Hebert R., Noumowé A., Ledésert B. Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature. *Cement and Concrete Research.* 2011, vol. 41, pp. 392–402. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.01.005.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

27. Grosu Y., Faik A., Ortega-Fernández I., D’Aguanno B. Natural Magnetite for thermal energy storage: Excellent thermo-physical properties, reversible latent heat transition and controlled thermal conductivity. *Solar Energy Materials and Solar Cells.* 2017, vol. 161, pp. 170–176. [DOI: 10.1016/j.solmat.2016.12.006](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.12.006).
28. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. *ISRN Civil Engineering.* 2014, pp. 1–15. [DOI: 10.1155/2014/468510](https://doi.org/10.1155/2014/468510).
29. Xu Y., Chung D.D.L. Cement of high specific heat and high thermal conductivity, obtained by using silane and silica fume as admixtures. *Cement and Concrete Research.* 2000, vol. 30, no. 7, pp. 1175–1178. [DOI: 10.1016/S0008-8846\(00\)00296-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00296-9).
30. Tufail M., Shahzada K., Gencturk B., Wei J. Effect of elevated temperature on mechanical properties of limestone, quartzite and granite concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials.* 2017, vol. 11, no. 1, pp. 17–28. [DOI: 10.1007/s40069-016-0175-2](https://doi.org/10.1007/s40069-016-0175-2).
31. Horszczaruk E., Sikora P., Cendrowski K., Mijowska E. The effect of elevated temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica and heavyweight aggregates. *Construction and Building Materials.* 2017, vol. 137, pp. 420–431. [DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.003](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.003).
32. Torić N., Boko I., Juradin S., Baloević G. Mechanical properties of lightweight concrete after fire exposure. *Structural Concrete.* 2016, vol. 17, no. 6, pp. 1071–1081. [DOI: 10.1002/suco.201500145](https://doi.org/10.1002/suco.201500145).
33. Torić N., Boko I., Peros B. Reduction of postfire properties of high-strength concrete. *Advances in Materials Science and Engineering.* 2013, vol. 712953. [DOI: 10.1155/2013/712953](https://doi.org/10.1155/2013/712953).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сикора Павел, канд. тех. наук, доцент кафедры строительной инженерии факультета гражданского строительства и архитектуры Западно-Поморского технологического университета, Щецин, Польша; магистр-исследователь в области строительных материалов и строительной химии, технический университет Берлина, Берлин, Германия; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1092-1359>; e-mail: pawel.sikora@zut.edu.pl

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 15.03.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 10.04.2020.

Статья принята к публикации: 10.04.2020.



WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IS ONE OF THE LEADING CHINESE UNIVERSITIES

About Wuhan University of Technology

Wuhan University of Technology (hereafter referred to as WUT) was merged on May 27th 2000, from the former Wuhan University of Technology (established in 1948), Wuhan Transportation University (established in 1946) and Wuhan Automotive Polytechnic University (established in 1958). WUT is one of the leading Chinese universities under the direct administration of the Ministry of Education and one of the universities in the country's construction plan of world-class universities and first-class disciplines. WUT is also jointly constructed by the Ministry of Education, the Ministry of Transport, the State Oceanic Administration and the State Administration of Science, Technology and Industry for National Defense. In the past 70 years, WUT has fostered over 500.000 engineers and technicians, maintaining itself the largest scale university under the direct administration of the Ministry of Education for nurturing talents oriented in the three industrial sectors: building materials industry, transportation industry and automobile industry and retaining itself an important base of nurturing high-level talents for the three indus-

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

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

The University has three main campuses, namely, the Mafangshan Campus, the Yujiatou Campus and the South Lake Campus, with a total occupying land area of 267 hectares. Currently, WUT has 5.508 staff members, including 3.282 full-time academic staff members, 1 academician of China Academy of Science, 3 aca-



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

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

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

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

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

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

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

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

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

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

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

graduate-Master program and undergraduate-PhD. program. In April 2014, ISMSE was founded and approved by the Hubei Provincial Department of Education. In June 2015, ISMSE was selected into the list of the «Network of International Centers for Education» supported by the Ministry of Education of P. R. China and the State Administration of Foreign Experts Affairs. ISMSE is devoted to building the world-leading MSE discipline through optimization of a high-level research and teaching team and establishment of an innovative talents training system, thereby to support the development of materials industry as a technology platform as well as a talent pool.

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

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

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





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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Contact information

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

Postal Code: 430070

Supporting Institution: Wuhan University of Technology

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

E-mail: sklwut@whut.edu.cn

Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

R



УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

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

цированных кадров и инновационного центра знаний материаловедения и инженерного дела.

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

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

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

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

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

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





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

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

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

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

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

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

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

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

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

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

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

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

**Контактная
информация**

Address: 122 Luoshi Road, Hongshan District, Wuhan, Hubei, P. R. China
Postal Code: 430070

R

Supporting Institution: Wuhan University of Technology

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

E-mail: sklwut@whut.edu.cn

Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua



Nanomodification is an effective way of forming a fine-grained structure of a weld metal. Part I. Factors determining the stability of the weld seam against embrittlement

A.M. Boldyrev¹ , S.V. Sizintsev^{1*} , V.G. Sannikov¹ , V.F. Pershin² 

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

² Tambov State Technical University, Tambov, Russia

* Corresponding author: e-mail: sizincev.1991@mail.ru

ABSTRACT: Steel constructions are the most important objects of the construction industry. The main method of connecting individual elements and assemblies of such structures is fusion welding (electric arc, plasma, electron beam). One of the main problems of metal structures is their tendency to brittle fractures that occur suddenly, without noticeable previous deformations, often at below zero temperatures and loads. In this case, 70–80% of such damage is associated with welding. The nature of the destruction depends not only on temperature, but also on the type of crystal lattice. Metals with a body-centered cubic (bcc) lattice (tungsten, molybdenum, α-iron) are plastic at a relatively high temperature, but become brittle when negative. And metals with a face-centered cubic (fcc) lattice (aluminum, nickel, copper and γ-iron) are plastic even at temperatures close to absolute zero. With decreasing temperature, the mobility of dislocations and vacancies decreases, the yield strength σ_s increases, that is, the ductility of the metal decreases. Using the A.F. Ioffe model showed that the critical temperature of the transition from viscous to brittle fracture with decreasing temperature depends on the rate of increase of σ_s . In austenitic steels (fcc lattice with a period $a = 0.3645$ nm), the impurity mobility (paired with a vacancy) through the internode of the lattice is higher, and the growth rate α_S is lower than that of low-carbon low alloy steels (bcc lattice with a shorter period $a = 0.2861$ nm). Therefore, the low carbon steels from which structures are made are more sensitive to lower temperatures.

In addition, resistance to brittle fracture depends on the number and size of metal continuity defects (pores, inclusions, low-plastic phases in the structure, etc.), which are stress concentrators. Welds are the main suppliers of such dangerous defects and sources of crack initiation. During crystallization of the weld pool, a coarse, columnar dendritic structure with reduced ductility is formed. The formation of a fine-grained structure of the weld during crystallization helps to increase its ductility. The grain size in the cast metal (in the weld) depends on the crystal growth rate and the rate of their nucleation. When welding, the most effective way to grind the grain in the seam is to increase the rate of nucleation. The introduction of refractory particles of nanoscale order into the weld pool (nanomodification) allows obtaining a fine-grained weld structure.

KEYWORDS: brittle fracture of welded structures, crystallization of the weld pool, obtaining a fine-grained structure of the weld.

FOR CITATION: Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F. Nanomodification – an effective way to form a fine-grained structure of the weld metal. Part I. Factors determining the stability of the weld seam against embrittlement // Nanotechnology in construction. – 2020. – Volume 12, № 3. – pp. 160–165. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-160-165.

INTRODUCTION

Steel constructions are the most important objects of the construction industry. The main way to connect the individual elements and nodes of such structures is

welding. The transition from riveted to welded constructions ensured an increase in labor productivity, a reduction in labor and material costs. This led to an increase in the range and production of metal structures. Almost 70% of the global consumption of metal structures is the

production of welded products, structures and facilities. The volume of production of welded structures worldwide is hundreds of millions of tons [1].

One of the main problems of welded metal structures is their tendency to brittle fractures that occur suddenly without noticeable previous deformations, often at low temperatures and loads below design.

According to statistics, 70–80% of all recorded failures of metal structures are associated with welding [2, 3]. For the first time, numerous cases of such failures were recorded in the United States, when mass production of welded ships and oil tankers was established [4]. Unfortunately, cases of such destruction both here and abroad continue to take place [5]. More often, such damage occurs at a negative ambient temperature.

In connection with the intensification of development of the northern and eastern territories of Russia, the problem of increasing the resistance of welded metal structures to brittle fractures at low temperatures is of particular relevance [6]. This article discusses the main causes of embrittlement of weld metal, as one of the main sources of nucleation and development of cracks in a welded joint.

METHODS AND MATERIALS

Mechanics of brittle fracture of metals

A.F. Ioffe, based on the concepts of two types of fracture: shear (plastic fracture) and chip (brittle), proposed a scheme for the transition of a solid from viscous to brittle fracture (Fig. 1) [7].

According to this scheme, the tensile strength of interatomic bonds in the crystal lattice σ_b (brittle strength) is determined by the nature of the substance – the structure of atoms and the type of crystal lattice. Therefore, σ_b depends little on temperature. And shear resistance σ_s (plastic strength) characterizes the ability of a material to deform without breaking atomic bonds. In polycrystalline bodies, deformation during loading occurs along slip planes – along grain and twin boundaries due to accumulation and dislocation movement in these zones. With decreasing temperature, the number and mobility of dislocations decrease, and the deformation resistance (yield strength σ_y) increases. At temperatures lower than T_{cr} , strains σ_s exceeding the strength of interatomic bonds ($\sigma_s > \sigma_b$) are necessary for deformation of the material; therefore, brittle fracture occurs in this case. Thus, ductility is the main factor determining the resistance of the metal to embrittlement. The nature of the destruction of metals depending on temperature is closely related to the type of crystal lattice. Metals with a body-centered cubic lattice (W, Mo, α -Fe) and tightly packed hexagonal (Zn, Be) plastic at a relatively high temperature, become brittle at negative. And metals with a face-centered cubic lattice (Al, Ni, Cu, and γ -Fe in high-alloy austenitic steels) are ductile even

at temperatures close to absolute zero. In them, the yield stress increases with decreasing temperature less intensively than in metals with a bcc lattice (curve 2 in Fig. 1). Building metal structures are made mainly of relatively cheap low-carbon low-alloy steels containing more than 90% α -iron with a body-centered cubic lattice. Therefore, with decreasing ambient temperature, the risk of brittle fracture of such structures increases. This danger is caused not only by the high sensitivity of low alloy steels to negative temperatures, but also by the formation of defects in the weld during crystallization of the weld pool in the form of pores, microcracks, and nonmetallic inclusions. Such foreign inclusions are stress concentrators and centers of crack initiation. The magnitude of the increase in stress in the defect zone depends on its size and shape. Near the ellipsoidal inclusion, the stresses σ^* in comparison with the average σ increase by $2\sigma \sqrt{a/r}$ [8]:

$$\sigma^* = \sigma(1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}) = \sigma + k, \quad (1)$$

where a and r – defect length and rounding radius of the sharpest part; $k = 2\sigma \sqrt{a/r}$ – stress intensity factor. That is, the larger the size of the defect and the smaller the radius of its sharpest part, the greater the stress intensity factor, the more dangerous this defect.

If the coefficient k exceeds a critical value, then the defect becomes the crack nucleus, which, as a result of merging with other microdefects, develops into a main crack.

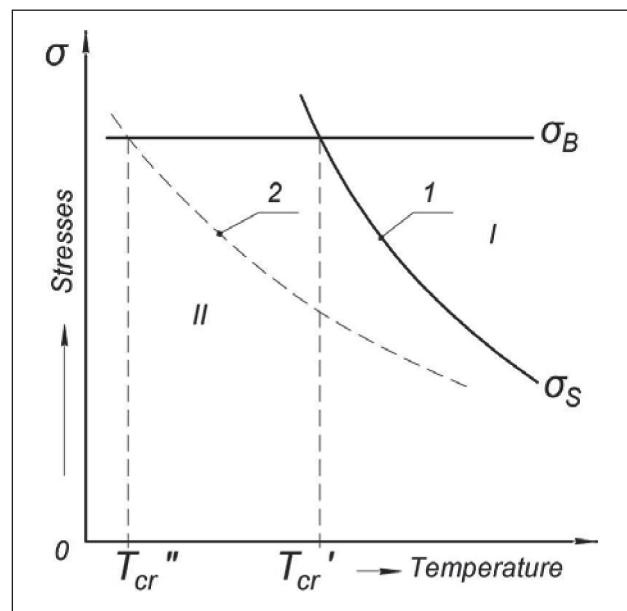


Fig. 1. The scheme of transition of viscous fracture (I) to brittle (II) with decreasing temperature [7].
1 – metals with a body-centered cubic lattice;
2 – metals with a face-centered cubic lattice

It follows that to increase the resistance of weld metal against embrittlement, it is necessary to exclude the appearance or minimize the number and size of such defects. It should also be borne in mind that the sphere is the most favorable form of a defect with a minimum stress concentration. This must be taken into account when additional crystallization centers (modifiers) are introduced into the weld pool. The practice of examining the state of exploited and destroyed welded metal structures showed that welds, whose mass fraction in the structure does not exceed 1%, are the main suppliers of dangerous defects and sources of crack nucleation. Therefore, the reliability and durability of welded metal structures largely depends on the quality of the weld metal. Under alternating or pulsating loads, the fatigue crack nucleates in the weld, in the defect zone or at the point of transition from the weld to the base metal. Its further development completes the destruction of the welded joint or the entire structure.

Specificity of crystallization of the weld pool

The formation of a welded joint is carried out in a weld pool, which is formed as a result of melting the edges of the connected elements, electrode wire, flux or electrode coating. All these components in the molten state interact with each other and with the gas phase. As the arc moves along the seam in the tail of the weld pool, a crystallization process is carried out, fixing an integral connection of structural elements.

For the first time, the type of structure formed during crystallization of a metal melt under foundry conditions was described by Russian metallurgist D.K. Chernov (1839–1921) [9]. The crystallization conditions of the metal in the weld pool are significantly different from the crystallization conditions of castings. During casting, crystallization of the melt after pouring into the mold proceeds under conditions of continuous cooling, without supply of heat. The latent heat of fusion released during this slows down the growth of crystals, and continuous heat removal leads to supercooling of the melt, which contributes to the endogenous nucleation of new crystals in the central part of the casting. The overheating of the melt in the weld pool is much higher than during casting. In the weld pool, the volume of which is significantly smaller than the casting, the thermal energy of the electric arc is continuously introduced. The temperature of the arc column is more than 6000 K, and in active spots (anode, cathode) the metal heats up to the boiling point. The boundary of the bath is an isothermal surface with a temperature equal to T_m of partially melted grains. This surface is an active initiator of the growth of a new phase. As a result of this temperature difference and the presence of active centers of growth of the solid phase, which prevent the nucleation of new

crystals in the melt, the crystals in the bath grow from its boundary to the center (Fig. 2).

Therefore, large columnar dendrites are formed in the weld metal. Such a coarse structure, combined with defects formed during crystallization (pores, non-metallic inclusions, microcracks, etc.), causes a low ductility of the weld metal. At the same time, alloying the weld metal to increase its ductility, as a rule, leads to a decrease in the tensile strength σ_b . The only way to increase the ductility of a metal without a significant decrease in strength is the formation of a fine-grained structure [10]. In this case, while maintaining intragranular strength, by increasing the number of slip planes and the area of grain boundaries, the possibility of deformation of the metal without its destruction increases.

Crystallization kinetics parameters determining grain sizes

Grain in metal science means a crystal grown during the crystallization of a melt from one nucleus.

A mathematical analysis of the process of crystallization of the melt in a limited volume showed that the diameter of the spherical grain d is proportional to the volumetric growth rate of crystalline nuclei R and inversely proportional to the rate of their occurrence in the melt n [11].

$$d = k \cdot \sqrt[6]{\frac{R}{n}}, \quad (2)$$

where R [$m^3 \cdot s^{-1}$]; n [$m^3 \cdot s^{-1}$]; k – coefficient depending on the shape of the growing crystal.

It follows from (2) that for the formation of a fine-grained structure, it is necessary to reduce the crystal growth rate and increase the rate of nucleation. When the melt is cooled without heat influx from the outside (as during casting), the crystal growth rate decreases over time and, if there are no refractory impurities, crystallization occurs at a temperature T_p below the equilibrium T_{cr} : $\Delta T = T_{cr} - T_p$ (ΔT – supercooling). Upon reaching supercooling of a certain critical value ΔT_{cr} in the melt in the supercooling zone, spontaneous homogeneous nucleation of new crystals occurs and a fine-grained structure is formed.

During welding, when thermal energy is continuously introduced into the bath, such subcooling cannot be obtained. Therefore, the main direction in solving the problem of obtaining a fine-grained structure of the weld metal under conditions of fusion welding is to find ways to increase the rate of nucleation of crystals in the weld pool (n).

The rate of formation of stable solid phase nuclei in the melt depends on the amount of energy spent on overcoming the potential barrier during the transition of an atom from the liquid phase to the solid, i.e. on the

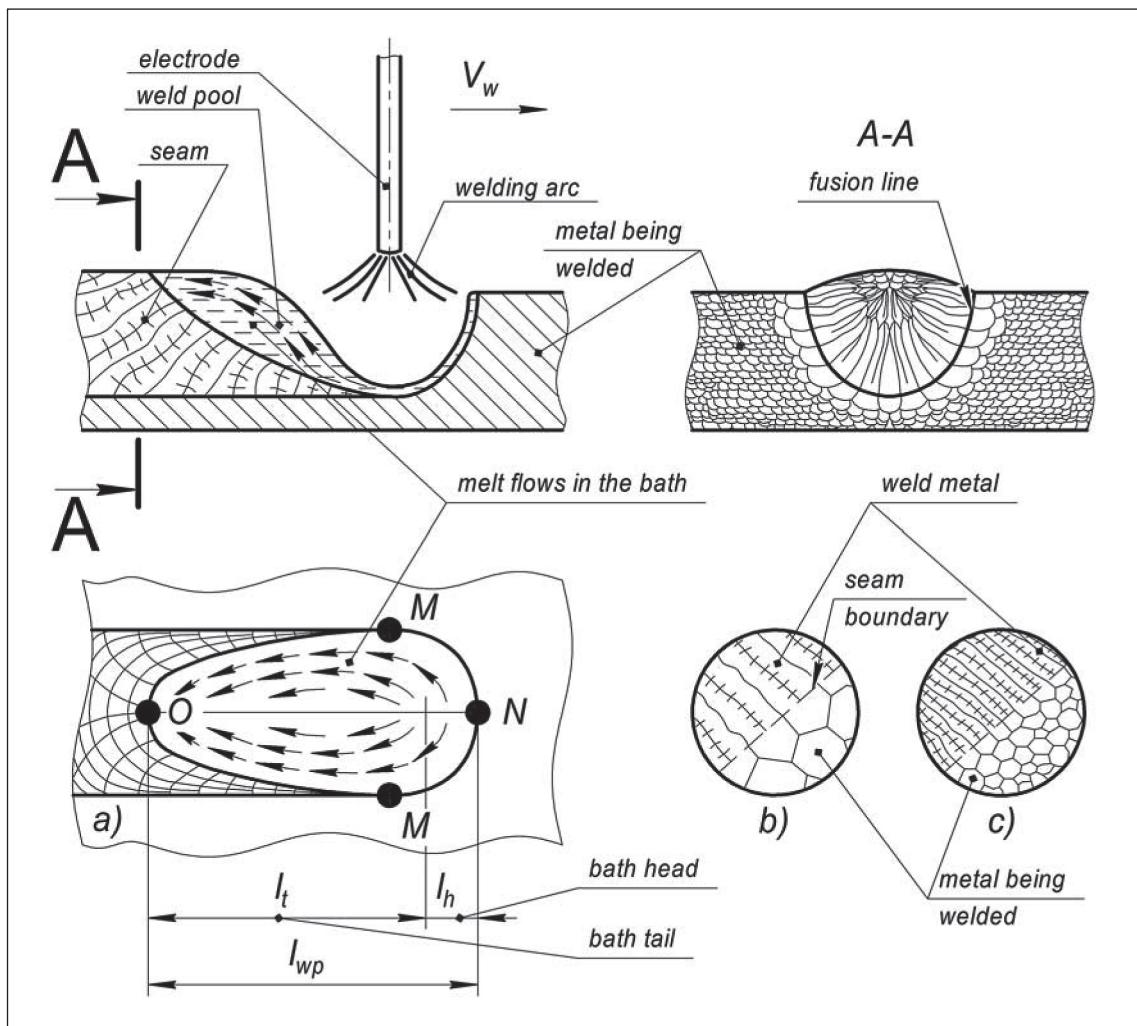


Fig. 2. The scheme of formation of the weld arc welding (a), the formation of the structure of the weld when welding austenitic steel with large (b) and (c) fine grain. I_h , I_t , I_{wp} – length of the head, tail and total length of the weld pool; V_w – direction of movement of the welding arc; MNM – and MOM – melting and crystallization front; arrows indicating melt flows in the bath

formation of an interface between the liquid and solid phases. With a decrease in the height of this barrier, the probability of such a transition, and hence the rate of nucleation, increases [12]. The presence of impurities reduces the height of the potential barrier; therefore, the nucleation of crystals in a melt untreated from impurities occurs with very little supercooling, almost at an equilibrium crystallization temperature.

It was established that not all impurities contribute to the nucleation of crystals in the liquid phase, but only those whose type and parameters of the crystal lattice are most consistent with the parameters of the crystallizing substance (P. A. Dankov rule on structural and dimensional correspondence [13]).

The influence of refractory impurities is explained by a decrease in the work of formation of the liquid – crystal

interface. The magnitude of this energy gain also depends on the degree of wettability of the impurity particle by the melt. Non-wettable particles do not affect the formation energy, in addition, due to the weak forces of interaction of such particles by the matrix, they are the centers of crack nucleation. When the particles are completely wetted, energy is not required to overcome the potential barrier during the transition of atoms from the liquid phase to the solid. Such particles become active centers of crystallization and are not stress concentrators in the weld metal.

A large number of works have been devoted to ways of influencing the crystallization of the weld pool in order to obtain a fine-grained structure of the weld. These are: activation of refractory particles existing or introduced into the melt, crushing of growing crystals using low-frequency and ultrasonic vibrations, changes in the conditions of

melt overcooling before the crystallization front due to periodic temperature fluctuations in the crystallization zone, etc. [14, 15].

Currently, it is generally recognized that the most effective way to increase the rate of nucleation of the solid phase in the weld pool is to introduce nanosized particles into the melt of refractory particles (nanomodification), which can be used in combination with other methods of acting on the weld pool.

CONCLUSIONS FOR PART I

1. Cold brittleness and resistance of the weld metal against brittle fracture is determined by its ductility and type of crystal lattice.

2. Internal defects in the form of accumulations of dislocations, microcracks, foreign inclusions, pores, etc. are stress concentrators.

3. The main supplier of hazardous defects and the source of cracks in the welded joint is the weld metal.

4. The specificity of the crystallization of the weld pool causes the formation of a coarse-grained columnar structure of the weld metal with a lower ductility than that of the base metal. Therefore, the problem of obtaining a weld metal with ultrafine grain, which has high resistance to brittle fracture at low temperatures, is very relevant.

5. Modification of crystallizing metal by introducing refractory particles of nanoscale order into the weld pool is one of the effective ways to grind the weld metal structure, increase its ductility and viscosity.

REFERENCES

1. Paton B.E. Modern directions of research and development in the field of welding and structural strength. Automatic welding. 2003. No. 10/11. Pp. 7–13. (In Russian).
2. Paton B.E. Modern directions of increasing the strength and resource of welded structures. Automatic welding. 2000. No. 9/10. Pp. 3–9. (In Russian).
3. Hall V., Kihara X., Zut V., Wells A.A. Fragile fracture of welded structures. New York, 1967. (Rus. Edition: Hall V., Kihara X., Zut V., Wells A.A. Fragile fractures of welded structures. Moscow: Publishing House Engineering, 1974. 320 p.).
4. Libovits G. Destruction. Volume 1. Microscopic and macroscopic foundations of fracture mechanics. New York and London, 1968. (Rus. Edition: Libovitz G. Fracture. Volume 1. Microscopic and macroscopic fundamentals of fracture mechanics. Moscow: Publ. Mir, 1973. – 616 p.).
5. Eremin K.I. [and others.] Register of accidents of buildings and structures 2001–2010. Russian Acad. architecture and builds. Sciences [et al.] Moscow: [b.i.], 2011. 318 p. (In Russian).
6. Gorynin I.V., Ilyin A.V. Theoretical and experimental studies of resistance to brittle fracture of welded structures for the shelf of the Arctic. Automatic welding. 2008. No. 11. Pp. 24–29. (In Russian).
7. Ioffe A.F., Kirpicheva M.V., Levitskaya M.A. The deformation and strength of crystals. Journal of the Russian Physico-Chemical Society. The physical part. 1924. Issue 56. Pp. 489–503. (In Russian).
8. Nott, J.F. Fundamentals of fracture mechanics. London, 1978. (Rus. Edition: Nott J.F. Fundamentals of fracture mechanics. Moscow: Publishing House Engineering, 1978. 256 p.).
9. Chernov D.K. The science of metals. Moscow: Publishing. Metallurgizdat, 1950. 556 p. (In Russian).
10. Petch N. Metallographic aspects of destruction. Destruction: in 6 volumes. Volume 1. Microscopic and macroscopic foundations of fracture mechanics. Moscow: Publishing. Mir, 1973. 616 p. (In Russian).
11. Kolmogorov A.N. Toward a static theory of metal crystallization. Bulletin of the USSR Academy of Sciences. The series is mathematical. 1957. No. 3. (In Russian).
12. Umansky Ya.S., Skakov Yu.A. Physics of metals. The atomic structure of metals and alloys. Moscow: Atomizdat, 1974. 352 p. (In Russian).
13. Dankov P.A. The crystal-chemical mechanism of interaction of the crystal surface with foreign elementary particles. Physical Chemistry. 1946. No. 8. Pp. 853–867. (In Russian).
14. Boldyrev A.M., Dorofeev E.B., Antonov E.G. Control of metal crystallization during fusion welding. Welding production. 1971. No. 6. Pp. 35–37. (In Russian).
15. Boldyrev A.M., Grigorash V.V. Problems of micro- and nanomodification of welds during welding of building steel constructions. Nanotechnology in construction. 2011. Volume 3, No. 3. Pp. 42–52. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_3_2011_ENG.pdf (accessed: 11.22.2016). (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander M. Boldyrev, Doctor of Engineering, Corr. RAACS, Prof. of Department «Steel and wooden structures», Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-4112>, e-mail: boldyreff@inbox.ru

Sergey V. Sizintsev, Assistant in Department «Steel and wooden structures», Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4890-264X>, e-mail: sizincev.1991@mail.ru

Vladimir G. Sannikov, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of Department «Physics», Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6153-5920>, e-mail: sannikov@mail.ru

Vladimir F. Pershin, Doctor of Engineering, Professor of Department of «Technique and production technology of nanoproducts», Tambov State Technical University (TSTU); Tambov, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0213-9001>, e-mail: pershin.home@mail.ru

Author declare the absence of any competing interests.

Received: 30.04.2020.

Revised: 26.05.2020.

Accepted: 02.06.2020.



Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва. Часть I. Факторы, определяющие стойкость сварного шва против охрупчивания

А.М. Болдырев¹ , С.В. Сизинцев^{1*} , В.Г. Санников¹ , В.Ф. Першин²

¹ Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

² Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

* Контакты: e-mail: sizincev.1991@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Металлические конструкции являются важнейшими объектами строительной отрасли. Основным способом соединения отдельных элементов и узлов таких конструкций является сварка плавлением (электродуговая, плазменная, электронно-лучевая). Одной из главных проблем металлоконструкций является их склонность к хрупким разрушениям, возникающим внезапно, без заметных предшествующих деформаций, часто при отрицательных температурах и нагрузках ниже расчетных. При этом 70–80% таких разрушений связано со сваркой. Характер разрушения зависит не только от температуры, но и от типа кристаллической решетки. Металлы с объемно-центрированной кубической (ОЦК) решеткой (вольфрам, молибден, а-железо) пластичны при относительно высокой температуре, но становятся хрупкими при отрицательной. А металлы с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой (алюминий, никель, медь и γ-железо) пластичны даже при температурах, близких к абсолютному нулю. С понижением температуры уменьшается подвижность дислокаций и вакансий, возрастает предел текучести σ_s , то есть снижается пластичность металла. С помощью модели А.Ф. Иоффе показано, что критическая температура перехода от вязкого разрушения к хрупкому при понижении температуры зависит от темпа нарастания σ_s . У austenитных сталей (решетка ГЦК с периодом $a = 0,3645 \text{ нм}$) подвижность примеси (в паре с вакансиями) через междоузлия решетки выше, а темп нарастания σ_s ниже, чем у низкоуглеродистых низколегированных сталей (решетка ОЦК с меньшим периодом $a = 0,2861 \text{ нм}$). Поэтому низкоуглеродистые стали, из которых изготавливают строительные конструкции, более чувствительны к понижению температуры. Кроме того, стойкость против хрупкого разрушения зависит от количества и размеров дефектов сплошности металла (пор, включений, малопластичных фаз в структуре и т.п.), являющихся концентраторами напряжений. Сварные швы являются главными поставщиками таких опасных дефектов и источниками зарождения трещин. При кристаллизации сварочной ванны формируется грубая, столбчатая дендритная структура с пониженной пластичностью. Формирование мелкозернистой структуры шва в процессе кристаллизации способствует повышению его пластичности. Размеры зерна в литом металле (в шве) зависят от скорости роста кристаллов и скорости их зарождения. При сварке наиболее эффективным способом измельчения зерна в шве является увеличение скорости зародышеобразования. Введение в сварочную ванну тугоплавких частиц наноразмерного порядка (наномодифицирование) позволяет получить мелкозернистую структуру шва.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хрупкое разрушение сварных конструкций, кристаллизация сварочной ванны, получение мелкозернистой структуры сварного шва.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Болдырев А.М., Сизинцев С.В., Санников В.Г., Першин В.Ф. Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва. Часть I. Факторы, определяющие стойкость сварного шва против охрупчивания // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 160–165. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-160-165.

ВВЕДЕНИЕ

Металлические конструкции являются важнейшими объектами строительной отрасли. Основным способом соединения отдельных элементов

и узлов таких конструкций является сварка. Переход от клепаных конструкций к сварным обеспечил повышение производительности труда, снижение трудовых и материальных затрат. Это привело к увеличению номенклатуры и объемов производства ме-

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

тальнических конструкций. Почти 70% мирового потребления металлоконструкций приходится на производство сварных изделий, конструкций и сооружений. Объемы производства сварных конструкций во всем мире составляют сотни миллионов тонн [1].

Одной из главных проблем сварных металлоконструкций является их склонность к хрупким разрушениям, которые возникают внезапно без заметных предшествующих деформаций, часто при отрицательных температурах и нагрузках ниже расчетных.

Согласно статистике, 70–80% всех фиксируемых отказов металлоконструкций связано со сваркой [2, 3]. Впервые многочисленные случаи таких отказов зафиксированы в США, когда было наложено массовое производство сварных кораблей и нефтеналивных танкеров [4]. К сожалению, случаи подобных разрушений и у нас, и за рубежом имеют место быть [5]. Чаще такие разрушения происходят при отрицательной температуре окружающей среды.

В связи с интенсификацией освоения северных и восточных территорий России проблема повышения стойкости сварных металлоконструкций против хрупких разрушений при отрицательных температурах приобретает особую актуальность [6]. В настоящей статье рассмотрены основные причины охрупчивания металла шва как одного из основных источников зарождения и развития трещин в сварном соединении.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Механика хрупкого разрушения металлов

А.Ф. Иоффе, исходя из представлений о двух типах разрушения — срезом (пластическое разрушение) и сколом (хрупкое) — предложил схему перехода твердого тела от вязкого разрушения к хрупкому (рис. 1) [7].

Согласно этой схеме, сопротивление разрыву межатомных связей в кристаллической решетке σ_b (хрупкая прочность) определяется природой вещества — строением атомов и типом кристаллической решетки. Поэтому σ_b мало зависит от температуры. А сопротивление срезу σ_s (пластическая прочность) характеризует способность материала к деформациям без разрыва атомных связей. В поликристаллических телах деформация при нагружении происходит по плоскостям скольжения — по границам зерен и двойников за счет скопления и перемещения дислокаций в этих зонах. С понижением температуры количество и подвижность дислокаций уменьшаются, а сопротивление деформации (предел текучести σ_s) возрастает. При температуре ниже T_{kp} для деформации материала необходимы напряжения σ_s , превышающие прочность межатомных связей ($\sigma_s > \sigma_b$),

поэтому в этом случае наступает хрупкое разрушение. Таким образом, пластичность является главным фактором, определяющим стойкость металла против охрупчивания. Характер разрушения металлов в зависимости от температуры тесно связан с типом кристаллической решетки. Металлы с объемно-центрированной кубической решеткой (W, Mo, α -Fe) и с гексагональной плотноупакованной (Zn, Be) пластичны при относительно высокой температуре, становятся хрупкими при отрицательной. А металлы с гранецентрированной кубической решеткой (Al, Ni, Cu и γ -Fe в высоколегированных austenитных сталях) пластичны даже при температурах, близких к абсолютному нулю. У них нарастание предела текучести с понижением температуры происходит менее интенсивно, чем у металлов с ОЦК-решеткой (кривая 2 на рис. 1). Строительные металлоконструкции изготавливаются в основном из сравнительно дешевых низкоуглеродистых низколегированных сталей, содержащих более 90% α -железа с объемно-центрированной кубической решеткой. Поэтому с понижением температуры окружающей среды возрастает опасность хрупких разрушений таких конструкций. Эта опасность обусловлена не только высокой чувствительностью низколегированных сталей к отрицательным температурам, но и образованием в шве в процессе кристаллизации сварочной ванны де-

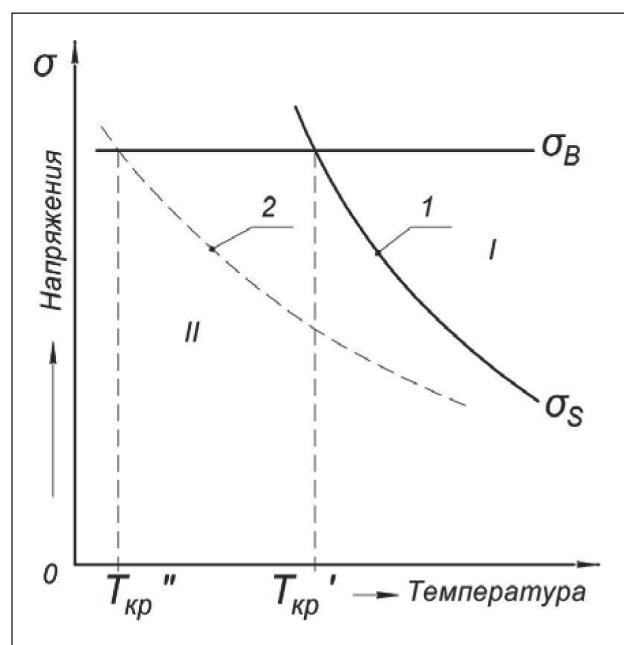


Рис. 1. Схема перехода вязкого разрушения (I) к хрупкому (II) при понижении температуры [7]: 1 — металлы с объемно-центрированной кубической решеткой; 2 — металлы с гранецентрированной кубической решеткой

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

фектов в виде пор, микротрещин и неметаллических включений. Такие инородные включения являются концентраторами напряжений и очагами зарождения трещин. Величина возрастания напряжений в зоне дефекта зависит от его размера и формы. Вблизи эллипсовидного включения напряжения σ^* по сравнению со средним σ увеличиваются на $2\sigma \sqrt{a/r}$ [8]:

$$\sigma^* = \sigma(1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}) = \sigma + k, \quad (1)$$

где a и r – длина дефекта и радиус закругления наиболее острой его части; $k = 2\sigma \sqrt{a/r}$ – коэффициент интенсивности напряжений. То есть, чем больше размер дефекта и меньше радиус наиболее острой его части, тем больше коэффициент интенсивности напряжений, тем опаснее этот дефект.

Если коэффициент k превысит критическую величину, то дефект становится зародышем трещины, которая в результате слияния с другими микродефектами развивается в магистральную трещину.

Отсюда следует, что для повышения стойкости металла сварных швов против охрупчивания необходимо исключить появление или свести к минимуму количество и размеры таких дефектов. Следует также иметь в виду, что наиболее благоприятной формой дефекта с минимальной концентрацией напряжения является сфера. Это необходимо учитывать при введении в сварочную ванну дополнительных центров кристаллизации (модификаторов). Практика исследования состояния эксплуатируемых и разрушенных сварных металлоконструкций показала, что сварные швы, массовая доля которых в конструкции не превышает 1%, являются главными поставщиками опасных дефектов и источниками зарождения трещин. Следовательно, надежность и долговечность сварных металлоконструкций в значительной степени зависит от качества металла шва. При знакопеременных или пульсирующих нагрузках усталостная трещина зарождается в шве, в зоне дефекта или по месту перехода от шва к основному металлу. Дальнейшее ее развитие завершает разрушение сварного соединения или всей конструкции.

Специфика кристаллизации сварочной ванны

Формирование сварного соединения осуществляется в сварочной ванне, которая образуется в результате плавления кромок соединяемых элементов, электродной проволоки, флюса или электродного покрытия. Все эти компоненты в расплавленном состоянии взаимодействуют друг с другом и с газовой фазой. По мере движения дуги вдоль шва в хвостовой части сварочной ванны осуществляется процесс кристаллизации, фиксирующий неразъемное соединение элементов конструкции.

Впервые тип структуры, формирующейся при кристаллизации металлического расплава в условиях литьевого производства, описан русским ученым-металлургом Д.К. Черновым (1839–1921 г.) [9]. Условия кристаллизации металла в сварочной ванне значительно отличаются от условий кристаллизации отливок. При литье кристаллизация расплава после заливки в форму протекает в условиях непрерывного охлаждения, без подвода тепла. Выделяющаяся при этом скрытая теплота плавления замедляет рост кристаллов, а непрерывный теплоотвод приводит к переохлаждению расплава, способствующее эндогенному зарождению новых кристаллов в центральной части отливки. Перегрев расплава в сварочной ванне значительно выше, чем при литье. В сварочную ванну, объем которой существенно меньше отливки, непрерывно вводится тепловая энергия электрической дуги. Температура столба дуги более 6000 К, а в активных пятнах (анод, катод) металл нагревается до температуры кипения. Граница ванны представляет собой изотермическую поверхность с температурой, равной Тпл, из частично оплавленных зерен. Эта поверхность является активным инициатором роста новой фазы. В результате такого температурного перепада и наличия активных центров роста твердой фазы, препятствующих зарождению новых кристаллов в расплаве, кристаллы в ванне растут от ее границы к центру (рис. 2).

Поэтому в металле шва формируются крупные столбчатые дендриты. Такая грубая структура в сочетании с дефектами, образующимися в процессе кристаллизации (поры, неметаллические включения, микротрещины и др.), обуславливает низкую пластичность металла шва. Вместе с тем, легирование металла шва для повышения его пластичности, как правило, приводит к уменьшению предела прочности об. Единственным средством повышения пластичности металла без существенного уменьшения прочности является формирование мелкозернистой структуры [10]. В этом случае, при сохранении внутризеренной прочности, за счет увеличения количества плоскостей скольжения и площади межзеренных границ возрастает возможность деформирования металла без его разрушения.

Параметры кинетики кристаллизации, определяющие размеры зерна

Под зерном в металловедении подразумевают кристалл, выросший в процессе кристаллизации расплава из одного зародыша.

Математический анализ процесса кристаллизации расплава в ограниченном объеме показал, что диаметр сферического зерна d пропорционален объ-

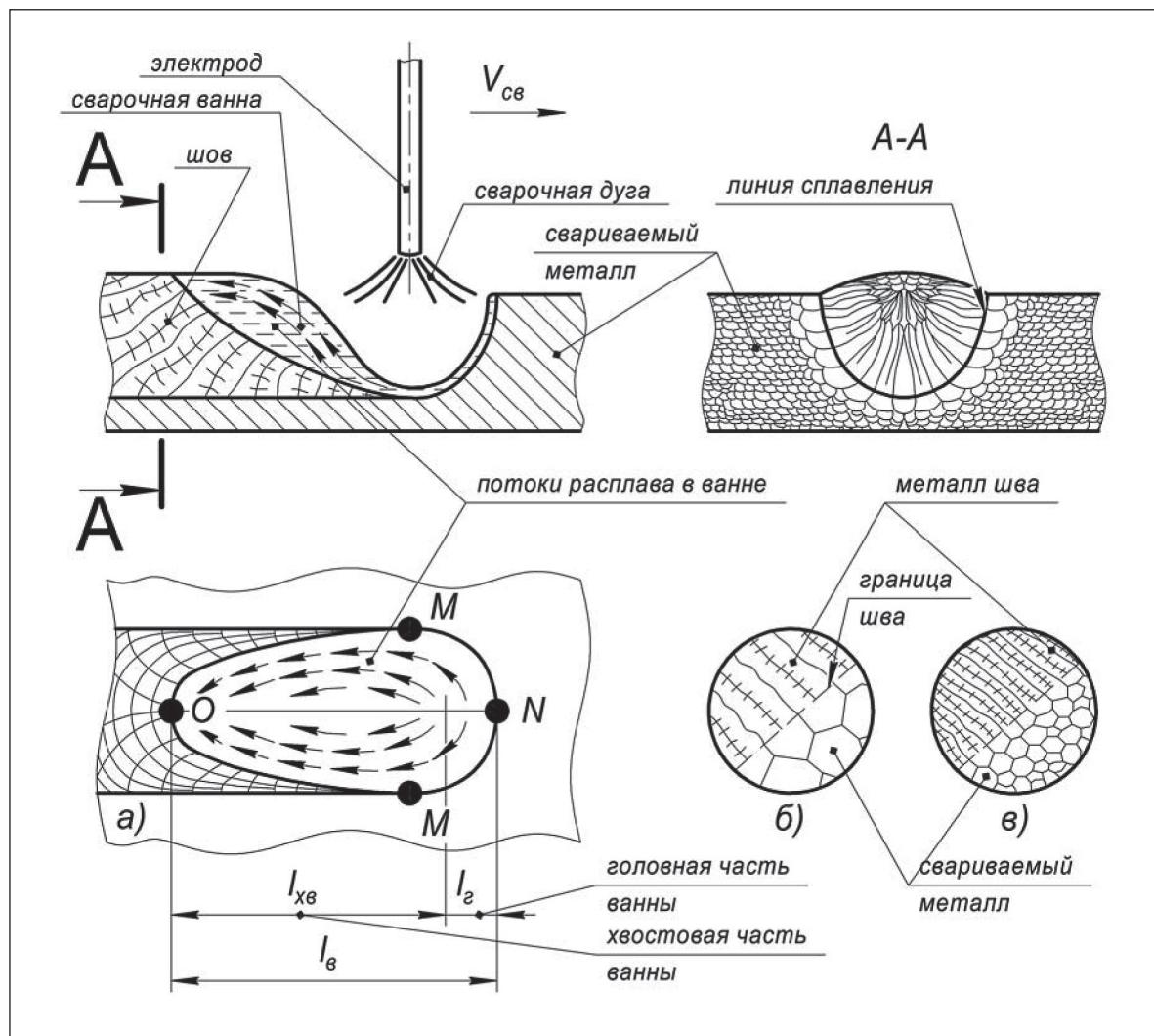


Рис. 2. Схема образования шва дуговой сварки (а), формирование структуры шва при сварке аустенитной стали с крупным (б) и мелким зерном: I_p , I_{xb} , I_b – длина головной части, хвостовой и общая длина сварочной ванны; V_{cb} – направление движения сварочной дуги; MNM – и МОМ – фронт плавления и кристаллизации; стрелками обозначены потоки расплава в ванне

емной скорости роста кристаллических зародышей R и обратно пропорционален скорости их возникновения в расплаве n [11].

$$d = k \cdot \sqrt{\frac{R}{n}}, \quad (2)$$

где R [$\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$]; n [$\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$]; k – коэффициент, зависящий от формы растущего кристалла.

Из (2) следует, что для формирования мелкозернистой структуры необходимо уменьшать скорость роста кристаллов и увеличивать скорость образования зародышей. Когда расплав охлаждается без притока тепла извне (как при литье), с течением времени скорость роста кристаллов уменьшается, и, если отсутствуют тугоплавкие примеси, кристаллизация

происходит при температуре T_p ниже равновесной T_{kp} : $\Delta T = T_{kp} - T_p$ (ΔT – переохлаждение). При достижении переохлаждения некоторой критической величины ΔT_{kp} в расплаве в зоне переохлаждения происходит спонтанное гомогенное зарождение новых кристаллов, и формируется мелкозернистая структура.

При сварке, когда в ванну непрерывно вводится тепловая энергия, такое переохлаждение получить невозможно. Поэтому основным направлением в решении проблемы получения мелкозернистой структуры металла шва в условиях сварки плавлением является изыскание способов увеличения скорости зародышебразования кристаллов в сварочной ванне (n).

Скорость образования устойчивых зародышей твердой фазы в расплаве зависит от количества энергии, затрачиваемой на преодоление потенциального барьера при переходе атома из жидкой фазы в твердую, т.е. на образование поверхности раздела между жидкой и твердой фазами. С уменьшением высоты этого барьера вероятность такого перехода и, следовательно, скорость образования зародышей возрастает [12]. Наличие примесей снижает высоту потенциального барьера, поэтому зарождение кристаллов в неочищенном от примесей расплаве происходит при очень малом переохлаждении, практически при равновесной температуре кристаллизации.

Установлено, что не все примеси способствуют зарождению кристаллов в жидкой фазе, а только те, тип и параметры кристаллической решетки которых в наибольшей степени соответствуют параметрам кристаллизующегося вещества (правило П.А. Данкова о структурном и размерном соответствии [13]).

Влияние тугоплавких примесей объясняется уменьшением работы образования границы раздела жидкость – кристалл. Величина этого энергетического выигрыша зависит также и от степени смачиваемости примесной частицы расплавом. Несмачиваемые частицы не влияют на энергию образования, кроме того, из-за слабых сил взаимодействия таких частиц матрицей они являются очагами зарождения трещин. При полном смачивании частиц энергию на преодоление потенциального барьера при переходе атомов из жидкой фазы в твердую не требуется. Такие частицы становятся активными центрами кристаллизации и не являются концентраторами напряжений в металле шва.

Способам воздействия на процесс кристаллизации сварочной ванны с целью получения мелкозернистой структуры шва посвящено большое количество работ. Это активация существующих или вводимых в расплав тугоплавких частиц, дробление

растущих кристаллов с помощью низкочастотных и ультразвуковых колебаний, изменение условий возникновения переохлаждения расплава перед фронтом кристаллизации за счет периодических температурных колебаний в зоне кристаллизации и др. [14, 15].

В настоящее время общепризнано, что наиболее эффективным способом увеличения скорости зародышебразования твердой фазы в сварочной ванне является введение в расплав тугоплавких частиц наноразмерного порядка (наномодифицирование), которое можно применять в сочетании с другими способами воздействия на сварочную ванну.

ВЫВОДЫ ПО ЧАСТИ I

1. Хладноломкость и стойкость металла шва против хрупкого разрушения определяется его пластичностью и типом кристаллической решетки.

2. Внутренние дефекты в виде скопления дислокаций, микротрещин, инородных включений, пор и др. являются концентраторами напряжений.

3. Основным поставщиком опасных дефектов и источником зарождения трещин в сварном соединении является металл шва.

4. Специфика кристаллизации сварочной ванны обусловливает формирование крупнозернистой столбчатой структуры металла шва с более низкой, чем у основного металла, пластичностью. Поэтому проблема получения металла шва с ультрамелким зерном, обладающего высокой стойкостью против хрупкого разрушения при отрицательных температурах, является весьма актуальной.

5. Модификация кристаллизующегося металла путем введения в сварочную ванну тугоплавких частиц наноразмерного порядка является одним из эффективных способов измельчения структуры металла шва, повышения его пластичности и вязкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б.Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10/11. – С. 7–13.
2. Патон Б.Е. Современные направления повышения прочности и ресурса сварных конструкций // Автоматическая сварка. – 2000. – № 9/10. – С. 3–9.
3. Холл В., Кихара Х., Зут В., Уэллс А.А. Хрупкие разрушения сварных конструкций. – Нью-Йорк, 1967. (Рус. Изд.: Холл В., Кихара Х., Зут В., Уэллс А.А. Хрупкие разрушения сварных конструкций. – Москва: Изд. Машиностроение, 1974. – 320 с.).
4. Либовиц Г. Разрушение. Том 1. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения. – Нью-Йорк и Лондон, 1968. (Рус. Изд.: Либовиц Г. Разрушение. Том 1. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения. – Москва: Изд. Мир, 1973. – 616 с.).

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

5. Еремин К.И. [и др.] Реестр аварий зданий и сооружений 2001–2010 годов // Российская акад. архитектуры и строит. наук [и др.] – Москва: [б.и.], 2011. – 318 с.
6. Горынин И.В., Ильин А.В. Теоретические и экспериментальные исследования сопротивляемости хрупким разрушениям сварных конструкций для шельфа Арктики // Автоматическая сварка. – 2008. – № 11. – С. 24–29.
7. Иоффе А.Ф., Кирпичева М.В., Левитская М.А. Деформация и прочность кристаллов // Журнал русского физико-химического общества. Часть физическая. – 1924. – Вып. 56. – С. 489–503.
8. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения. – Лондон, 1978. (Рус. Изд.: Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения – Москва: Изд. Машиностроение, 1978. – 256 с.).
9. Чернов Д.К. Наука о металлах. – Москва: Изд. Металлургиздат, 1950. – 556 с.
10. Петч Н. Металлографические аспекты разрушения // Разрушение: в 6 томах. Том 1. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения. – Москва: Изд. Мир, 1973. – 616 с.
11. Колмогоров А.Н. К статической теории кристаллизации металлов // Известия АН СССР. Серия математическая. – 1957. – № 3.
12. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. Атомное строение металлов и сплавов. – Москва: Атомиздат, 1974. – 352 с.
13. Данков П.А. Кристаллохимический механизм взаимодействия поверхности кристалла с чужеродными элементарными частицами // Физическая химия. – 1946. – № 8. – С. 853–867.
14. Болдырев А.М., Дорофеев Э.Б., Антонов Е.Г. Управление кристаллизацией металла при сварке плавлением // Сварочное производство. – 1971. – № 6. – С. 35–37.
15. Болдырев А.М., Григораш В.В. Проблемы микро- и наномодифицирования швов при сварке строительных металлоконструкций // Нанотехнология в строительстве. – 2011. Том 3, № 3. – С. 42–52. – URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_3_2011_RUS.pdf (дата обращения: 22.11.2016).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Болдырев Александр Михайлович, д-р. техн. наук, чл.-кор. РААСН, проф. каф. «Металлических и деревянных конструкций», Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); г. Воронеж, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-4112>, e-mail: boldyreff@inbox.ru

Сизинцев Сергей Валерьевич, асс. каф. «Металлических и деревянных конструкций», Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); г. Воронеж, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4890-264X>, e-mail: sizincev.1991@mail.ru

Санников Владимир Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, доц. каф. «Физика», Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); г. Воронеж, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6153-5920>, e-mail: sannikov@mail.ru

Першин Владимир Федорович, д-р. техн. наук, проф. каф. «Техника и технологии производства нанопродуктов», Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ); г. Тамбов, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0213-9001>, e-mail: pershin.home@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 30.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.05.2020.

Статья принята к публикации: 02.06.2020.



Assessment of the colloidal system with nanoparticles influence on wettability of carbonate rock surface

V.V. Sergeev^{1*} , K. Tanimoto², M. Abe², R.R. Sharapov³, Y.V. Zeigman⁴

¹ OILMIND LLC, Skolkovo Foundation, Moscow, Russia

² Nissan Chemical Corporation, Tokyo, Japan

³ RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia

⁴ Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia

* Corresponding author: e-mail: sergeev@oilmind.ru

ABSTRACT: The wettability of a surface of channels filtering liquids and gases under natural conditions of oil and gas reservoirs is one of the parameters that largely determines the filtration. A nature of the filtration channel surface wettability determines a phase permeability, capillary forces and intensity of adsorption at the interface. An ability of the filtration channel surface to be wet by the polar or nonpolar phases of formation fluid and process liquids affects the filtration-capacitive parameters of oil and gas saturated rocks. In this regard, in the development of oil and gas fields, much attention is paid to the study of physicochemical phenomena and processes occurring at the interfaces. An article presents the results of a set of laboratory experiments to study the surface activity of the colloidal system in the form of an emulsion with supercharged nanoparticles. A set of filtration experiments was carried out using the United States Bureau of Mines (USBM) method in order to assess an effect of the emulsion system with nanoparticles on wettability of the surface of oil and gas reservoir rock filtration channels. The research was conducted on rock cores of two oil and gas fields in the Ural-Volga region of the Russian Federation. According to the applied experimental procedure, rock cores were preliminarily maintained under reservoir conditions to give a surface of pore channels the properties close to the natural conditions. After that, the wettability of rocks was assessed by measuring the USBM wettability index before and after filtering the emulsion system with nanoparticles. Analysis of the research results showed that filtration of the emulsion system with high surface activity led to a change in the wettability of rocks from completely hydrophilic (USBM index – 0.60) to completely hydrophobic (USBM index – minus 0.32). The research results allowed to conclude that there is a high potential for application of emulsion systems with supercharged nanoparticles to control the filtration of formation fluids and process liquids in natural oil and gas reservoirs.

KEYWORDS: nanoparticles; silicon dioxide; emulsion system; wettability; carbonates; USBM index

ACKNOWLEDGMENTS: The authors are grateful to Matt Matsumura, General Manager and Takashi Sonoda, Senior Manager of Inorganic Materials Dept., Performance Materials Div., Nissan Chemical Corporation (Tokyo), who made this research possible and supported the scientific approach to innovation.

FOR CITATION: Sergeev V.V., Tanimoto K., Abe M., Sharapov R.R., Zeigman Y.V. Assessment of the colloidal system with nanoparticles influence on wettability of carbonate rock surface. Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12, no. 3, pp. 166–173. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-166-173.

INTRODUCTION

A quality of hydrocarbon reserves development, as well as an effectiveness of methods of technogenic impact on natural reservoirs of oil and gas are largely defined by correctness and relevance of information about a wettability of surface of filtration channels. Determination of the wettability of surfaces in a natural reservoir system is a non-trivial task. In solving this task, it is recommend-

ed to take into account in complex a natural geological, physicochemical phenomena and processes occurring at macro and micro levels of the filtration channels, as well as a geological transformation and change in thermobaric conditions of reservoirs initiated by an anthropogenic impact [1–8]. At a stage of geological development of oil and gas reservoir, the wettability of rock surface is defined by the properties of minerals composing a rock, and surface changes in dynamics depending on geological transforma-

tions and properties of multicomponent reservoir fluids, which saturated the reservoir. As a result of an adsorption of reservoir fluid molecules on a surface of the pore channels, a film of positively or negatively charged fluid is created, which defines the wettability of the pore channel surface. In the process of development of oil and gas reservoir, the wettability will change along with a change in the properties of reservoir fluids due to a violation of thermobaric equilibrium of the reservoir system, as well as filtration of technological agents in the reservoir. A large number of experimental methods for studying the wettability of rock surfaces were developed in the second half of the 20th century [9–17]. One of these methods is the United States Bureau of Mines (USBM) method, according to which a wettability of rocks is assessed by a hysteresis loop of capillary pressure curves [5, 9]. This technique was used by the authors of this article for experimental research and assessment of colloidal systems with nanoparticles influence on the wettability of rock surfaces of two oil and gas fields in the Volga-Ural oil and gas province.

METHODS AND MATERIALS

As a part of preparatory work for the experiments, the rock cores of geological objects Bashkir (SBASH) and Turney (S_{Tur}) of two oil and gas fields of the Volga-Ural oil and gas province were selected and studied. Preparation of core material for the research was carried out in accordance with the requirements of industry and state standards [18–20].

In order to conduct experiments in conditions closest to natural, laboratory experiments simulated the natural

reservoir conditions of the studied geological objects. As models of reservoir fluids, oil samples were used, taken from wells drilled in geological objects under study S_{BASh} and S_{Tur} . A brief geological and physical characteristics of the geological objects is given in table 1.

Oil samples were placed in a metal container made of stainless steel and heated to a temperature exceeding the reservoir on 20°C. At this temperature, the oil was kept for 3 hours with periodic stirring. Next, it was cooled to reservoir temperature and filtered through a porous medium. The sample of oil was considered suitable for experiments if the filtration did not attenuate while passing through a cylindrical core sample. Then, the density and viscosity of the obtained oil sample were determined at reservoir temperature. In order to simulate the residual water saturation of rock core samples, a reservoir water model prepared using calcium chloride was used.

To conduct research, six cylindrical core samples were taken from the wells of S_{BASh} and S_{Tur} geological objects. A brief filtration-capacitive characteristic of the core samples is presented in table 2.

At the stage of preparation of process liquids for experiments, laboratory samples of the emulsion system with silicon dioxide nanoparticles (ESN) were prepared. The colloidal system ESN is industrially used as a water-limiting or oil-displacing agent in technologies for intensifying oil production or enhancing oil recovery [21–30]. The nanoparticles used in the experiments are ultra-hydrophobic. The concentration of solid and aqueous phases of the ESN sample was 0.5 and 81.5% vol. respectively.

The assessment of a wettability of rock surface was carried out according to the U.S. Bureau of Mines (USBM) method developed by Donaldson et al. [5, 9]. This tech-

Table 1
A brief geological and physical characteristics of the geological objects S_{BASh} and S_{Tur}

Name	Object S_{BASh}	Object S_{Tur}
The average depth of the roof, m	1100	1450
Rock	limestones with interlayers of dolomites	dolomitic limestones
Type of porosity	cavernous-fissure	mixed
Porosity coefficient, frac.	0.13	0.10
Oil saturation coefficient, frac.	0.80	0.68
Permeability, $10^{-3} \mu\text{m}^2$	47.0	21.0
Initial reservoir temperature, °C	22.0	27.0
Viscosity of oil in reservoir conditions, $\text{mPa} \cdot \text{s}$	12.4	10.2
Density of oil at reservoir temperature, kg/m^3	880	860
Viscosity of water at reservoir temperature, $\text{mPa} \cdot \text{s}$	1.29	1.38
Density of water at surface conditions, kg/m^3	1108	1125

Table 2

A brief filtration-capacitive characteristic of the rock core samples from the wells of S_{BASh} and S_{Tur} geological objects

Geological objects	Rock core number	Porosity (gas), frac.	Permeability (gas), $10^{-3} \mu\text{m}^2$
S_{BASh}	1	0.20	13.4
	2	0.17	59.7
	3	0.14	6.9
S_{Tur}	4	0.12	12.2
	5	0.10	8.0
	6	0.13	11.6

nique is based on the assessment of wettability by a hysteresis loop of capillary pressure curves [5, 9–12]. Capillary pressure curves were obtained by alternately displacing water and oil from core samples using a centrifuge. The method for determining a preferential wettability of rocks is based on a comparison of the amount of work necessary for one liquid to displace another. The areas limited by the capillary pressure curve and the abscissa axis between the two fluids saturation limit values are a measure of the work that needs to be expended to displace the corresponding fluid from the sample. Less energy is required to displace the non-wetting phase by the wetting phase, than to displace the wetting phase by the non-wetting phase. Therefore, the ratio of areas bounded by capillary pressure curves is a direct indicator of the degree of wettability. The decimal logarithm of the ratio of area corresponding to the case of water displacement by oil (A_1) to the area corresponding to the case of oil displacement by water (A_2) is used as an indicator of wettability and is called an index of preferential wettability I_{USBM} [5, 9].

The preferential wettability index $USBM$ is calculated as the logarithm of the area ratio according to the capillary pressure curves:

$$I_{USBM} = \log_{10} \cdot [A_1]/[A_2],$$

where A_1, A_2 – capillary pressure curve areas.

An increase in positive values to $+\infty$ indicates an increasing preferential wetting of a surface with water to infinite hydrophilicity. Zero value characterizes equal wetting of a surface with both fluids (neutral wettability). An increase in negative values to $-\infty$ indicates an increasing preferential wetting of a surface by oil to infinite hydrophobicity [5, 9].

An order of the experiment is as following:

1) Place the samples saturated by water (with residual oil saturation) in centrifuge glasses and filled them with oil so that it covered the core.

2) Launch the centrifuge, stepwise increasing the rotor speed. At each subsequent increment of the rotation speed, the amount of water displaced from the sample was

measured. Samples were rotated at each stage for 12 hours to achieve hydrostatic equilibrium.

3) After the rotor is stopped, the samples were weighed and extracted in a Sachs apparatus.

Two main stages could be distinguished in the carried out experimental research, which were a determination of wettability of the rock surface before and after filtration of ESN.

At the first stage of the research, experiments were conducted to determine a wettability of rock samples and to calculate the wettability indices, which were taken as the initial ones for further comparative analysis and evaluation. The wettability indices of rock core samples were determined according to the procedure consisted of two sequential cycles:

- From the water-saturated samples, a water was displaced by oil using a centrifuge. At each centrifugation stage, the amount of displaced water was recorded to calculate the coefficient of residual water saturation. Next, from samples saturated predominantly with oil, the oil was displaced by water using a centrifuge. At each centrifugation stage, the amount of the displaced oil was recorded to calculate the coefficient of residual water saturation. As a result, the dependences of the water saturation coefficient of rock samples on capillary pressure were obtained (“capillary imbibition” curve).
- From the predominantly water-saturated samples, a water was displaced by oil using a centrifuge. At each centrifugation stage, the amount of displaced water was recorded to calculate the coefficient of residual water saturation. As a result, the dependences of the water saturation coefficient on capillary pressure were obtained (curve of “secondary drainage”).

At the second stage of the research, a similar set of experiments and calculations was performed, but after filtering the ESN in rock core samples.

RESULTS

In accordance with the methodology presented above, the filtration experiments were carried out to determine

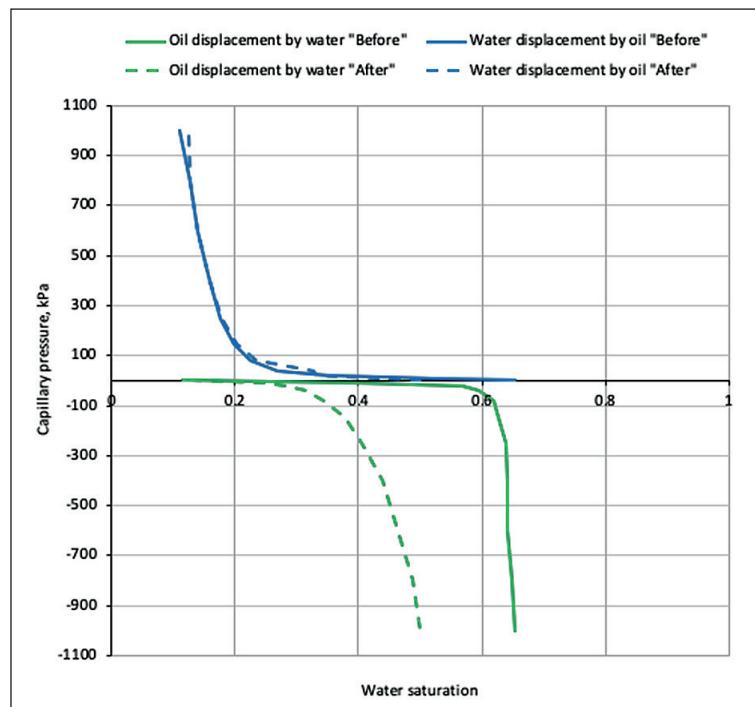


Fig. 1. Capillary pressure curves for the rock core sample No. 2 of the geological object S_{BASh} before and after filtration of ESN

an intensity of the ESN influence on the wettability of the filtration channels of carbonate rock core samples from geological objects SBASh and STur. The content of silicon dioxide nanoparticles in the ESN sample was 0.5% vol. when the content of the aqueous phase is 81.5% vol. The results of the experiments with obtained capillary pressure curves and the wettability indices for the core samples No. 2 and 5 are presented in Fig. 1–4.

The results of experiments graphically presented in Fig. 1 illustrate a significant decrease in capillary pressure for the displacement of oil by water after filtration of a colloidal system with nanoparticles ESN in a rock core

No. 2. At the same time, there was no significant change in the capillary pressure curve for the process of water displacement by oil, which is an ambiguous result. Based on the obtained capillary pressure curves, the wettability indices USBM were calculated (Fig. 2).

The results of calculations of wettability indices by the USBM method, graphically presented in Fig. 2 showed that colloidal systems with nanoparticles ESN significantly impacted on the wettability of carbonate rocks and made it possible to change the wettability index USBM from 0.67 (hydrophilic surface) to minus 0.12 (hydrophobic surface).

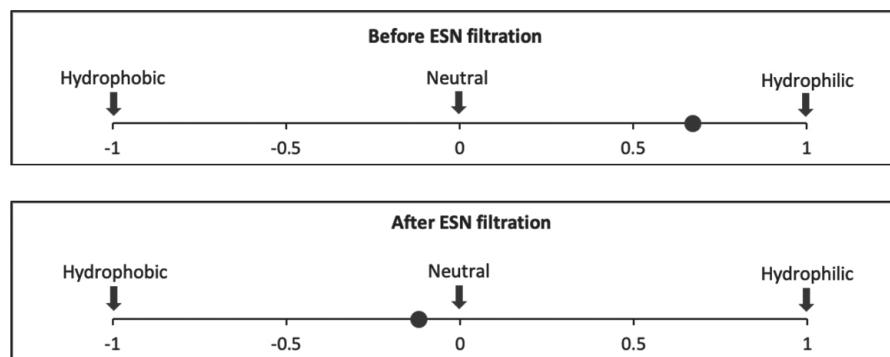


Fig. 2. Wettability indices USBM for the rock core sample No. 2 of the geological object S_{BASh} before and after filtration of ESN

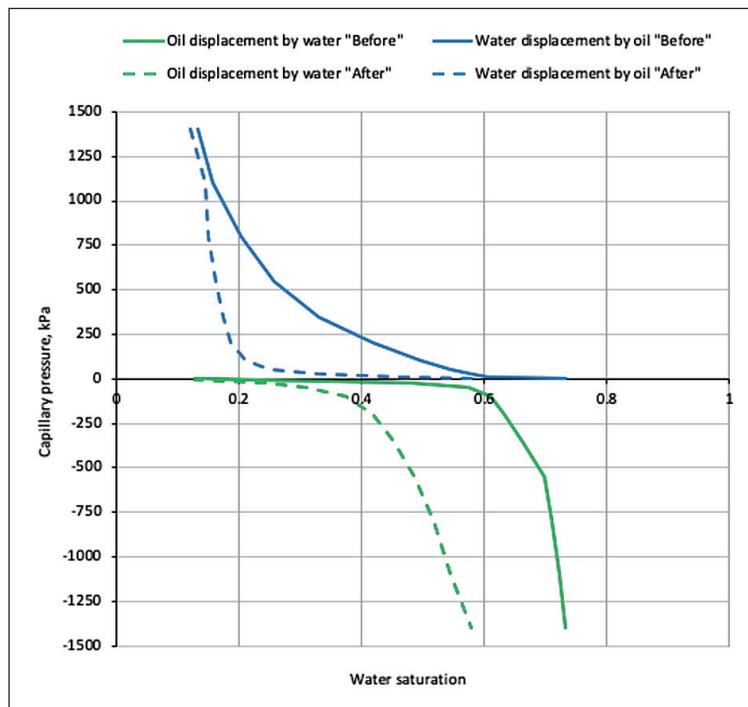


Fig. 3. Capillary pressure curves for the rock core sample No. 5 of the geological object S_{Tur} before and after filtration of ESN

The results of experiments graphically presented in Fig. 3 showed that filtration of the colloidal system with nanoparticles ESN in a rock core No. 5 drastically impacted on the capillary pressure curves for both water displacement by oil and oil displacement by water. In these experiments the filtration of the ESN decreased capillary pressure for displacement water by oil and oil by water, which is not correlated with theoretical understanding of the dependence between preferential wettability of rock surface and efficiency of the displacement process. Based on the obtained capillary pressure curves, the wettability indices USBM were calculated (Fig. 4).

The results of calculations of wettability indices by the USBM method, graphically presented in Fig. 4 showed that colloidal system with nanoparticles ESN significantly impacted on the wettability of the rock surface, providing the possibility to change the wettability index USBM from 0.60 (hydrophilic surface) to minus 0.32 (hydrophobic surface).

A comparative assessment of the ESN influence on the wettability index of carbonate rocks is given in Table 3 and in Fig. 5.

According to the results of filtration experiments, it was found that the filtration of the colloidal system ESN

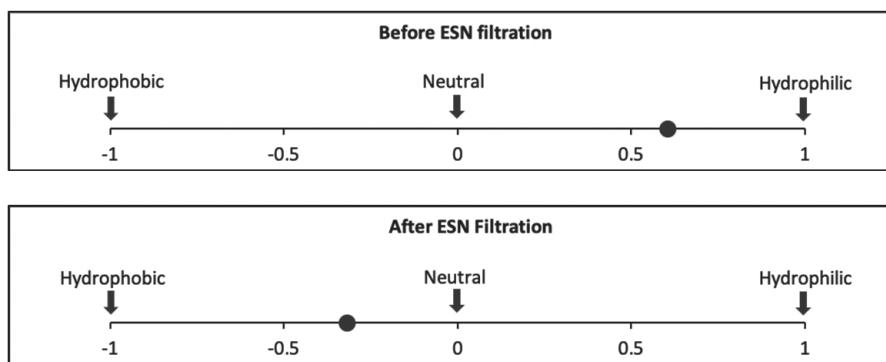


Fig. 4. Wettability indices USBM for the rock core sample No. 5 of the geological object S_{Tur} before and after filtration of ESN

Table 3

Wettability of the rock surface of geological objects S_{BASh} and S_{Tur} before and after filtration of ESN

Geological object	Rock core number	Wettability index I_{USBM}	
		Before filtration of ESN	After filtration of ESN
S_{BASh}	1	0.76	0.19
	2	0.67	-0.12
	3	0.74	0.19
S_{Tur}	4	0.21	-0.02
	5	0.60	-0.32
	6	0.11	-0.17

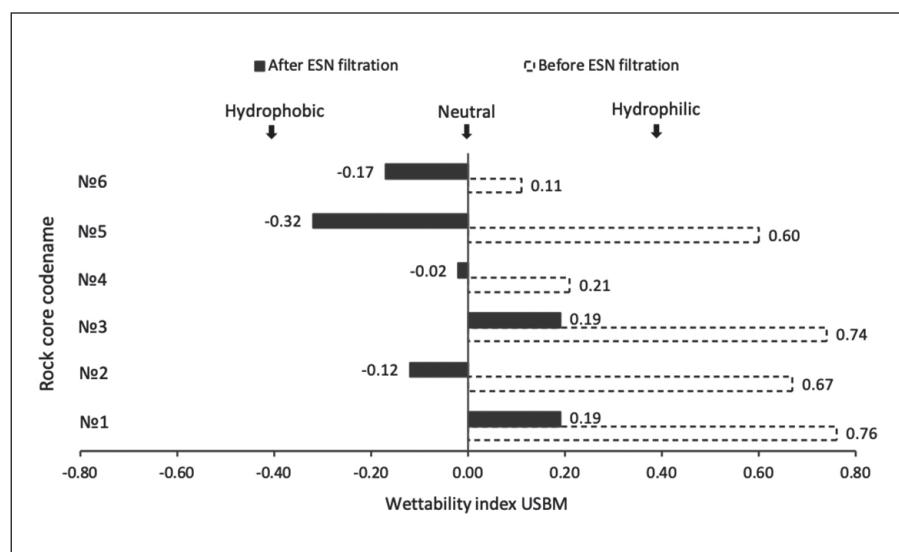


Fig. 5. The wettability index of the rock surface before and after filtration of ESN

in cores of carbonate rocks with a predominant hydrophilicity of the surface of the pore channels led to a decrease in the degree of hydrophilicity or an absolute change in the wettability of the surface of filtration channels (Fig. 5). For core samples No. 1 and 3, a decrease in the levels of hydrophilicity were recorded from 0.76 and 0.74 to 0.19 for both samples (an average decrease of USBM index for two samples was 0.56). More significant changes were observed in the experiments with core samples No. 2, 4, 5, and 6, where all initially hydrophilic samples become hydrophobic. The highest decrease of USBM index from 0.60 (completely hydrophilic surface) to a minus 0.32 (completely hydrophobic surface) was recorded for the sample No. 5. An average value of USBM index for six core samples under study before filtration of ESN was 0.52 (completely hydrophilic), after filtration of ESN minus 0.04 (neutral).

CONCLUSION

The results of a series of laboratory experiments to study the effect of colloidal systems with nanoparticles influence on the wettability of rock filtration channels showed a high technological functionality of ESN to control the wettability of the surfaces of fluid-saturated fractured-porous rocks. An analysis of the research results showed that the filtration of ESN in rock cores of oil and gas fields of the Volga-Ural oil and gas province in four of six experiments led to an absolute change of rock surface wettability from completely hydrophilic to completely hydrophobic. The highest level of surface wettability change assessed through USBM index was recorded for sample No. 5, where USBM index decreased from 0.60 to minus 0.32. For petroleum engineers, the ability to control a wettability of rocks is

a highly effective mechanism to control the development of the oil and gas reservoir, because an alteration of rock surface wettability for filtrating oil-gas-water mixtures allows to alter a direction of filtration flows in the bottom hole zone. Alteration of wettability of rock filtration channels is an efficient lever for influencing phenomena such as interfacial tension, capillary pres-

sure and capillary imbibition, which in turn determine the rate and completeness of oil and gas recovery. The results of conducted experiments indicated a great promise of use colloidal systems with supercharged silicon dioxide nanoparticles to control the filtration of liquids through oil and gas saturated porous-fractured media.

REFERENCES

1. Baker E.G. Origin and Migration of Oil. Science. 1959;129(3353):871-874. DOI: [10.1126/science.129.3353.871](https://doi.org/10.1126/science.129.3353.871).
2. Blackwell, R.J., Rayne, J.R., and Terry, W.M. Factors influencing the efficiency of miscible displacement. 1959, Trans. AIME. v. 216: 1–8.
3. Bonham, L.C. Migration of hydrocarbons in compacting basins: (Abs. in AAPG Bulletin, v. 62, 1978: 498). 1980, AAPG Studies of Geology 10: 69–88.
4. Buckley, J.S., and Liu, Y. Some mechanisms of crude oil/brine/solid interactions. J. Petrol. Sci. and Eng., v. 20 (Jun) 1998: 155–160.
5. Donaldson, E., & Alam, W. 2013. Wettability. Burlington: Elsevier Science.
6. Mikhaylov N.N., Motorova K.A., and Sechina L.S. Geological factors of wettability of oil and gas bearing rocks. Neftegaz. RU. – 2016, no. 3. pp. 80–90 (in Russian).
7. The Effect of the Pore Space Microstructure on Hydrophobization of Oil and Gas Reservoirs. Moscow University Geology Bulletin. 2016, no. 6 – 71. pp. 436–444. Mikhailov N.N., Kuz'min V.A., Motorova K.A., Sechina L.S. SCOPUS.
8. Mikhaylov N.N., Gurbatova I.P., Motorova K.A., Sechina L.S. New representations of wettability of oil and gas reservoirs. Neftyanoe khozyaistvo – Oil industry. – 2016, no. 7. pp. 80–85. (In Russian).
9. Tiab, D. & Donaldson, E. Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties (4th ed.). Amsterdam, Netherlands: Gulf Professional Publishing, 2015.
10. Donaldson E.C, Lorenz P.B. and Thomas R.D. Wettability Determination and its Effect on Recovery Efficiency. Soc. Petrol. Eng. J., Vol. 9, No. 1, March 1969, pp. 13–20.
11. Donaldson E.C, Kendall R.F., Pavelka E.A. and Crocker M.E. Equipment and Procedures for Fluid Flow and Wettability Tests of Geological Materials. U.S. Dept. Energy report DOE/BETC/IC-79/5, 1980, Nat. Tech. Info Sv., Springfield, VA, 40 p.
12. Kwan, M.Y. «Measuring Wettability of Unconsolidated Oil Sands Using the USBM Method». JPSE, Vol. 21, Sept. 1998, pp. 61–78.
13. R.J.S. Brown, I. Fatt, Measurement of fractional wettability of oil fields rocks by the nuclear magnetic relaxation method. Trans. AIME 207. 1956, pp. 262–264.
14. P. Alba. Discussion on effect of fractional wettability on multiphase flow through porous media. Trans. AIME 216. 1958, pp. 426–432.
15. Anderson W.G. Wettability Literature Survey-Part 4: Effects of Wettability on Capillary Pressure. Society of Petroleum Engineers. 1987. DOI: [10.2118/15271-PA](https://doi.org/10.2118/15271-PA).
16. Anderson W.G. Wettability Literature Survey Part 5: The Effects of Wettability on Relative Permeability. Society of Petroleum Engineers. 1987. DOI: [10.2118/16323-PA](https://doi.org/10.2118/16323-PA).
17. Anderson W.G. Wettability Literature Survey-Part 6: The Effects of Wettability on Waterflooding. Society of Petroleum Engineers. 1987. DOI: [10.2118/16471-PA](https://doi.org/10.2118/16471-PA).
18. State Standard 26450.1-85 Rocks. Method for determination of open porosity coefficient by fluid saturation. Moscow, Standartinform Publ., 1985. 8 p. (In Russian).
19. State Standard 39-204-86 Oil. Method for laboratory determination of residual water saturation of oil and gas based on dependence of saturation from capillary pressure. Moscow, Standartinform Publ., 1986. 24 p. (In Russian).
20. State Standard 8.417-2002 State system for ensuring the uniformity of measurements. Units of quantities. Moscow, Standartinform Publ., 2003, 26 p. (In Russian).
21. Sergeev, V., Zeigman, Y. and Kinzyabaev, F. Water-blocking Solution Based on Emulsion with SiO₂ Nanoparticles Content for Reservoir Stimulation Technologies. European Association of Geoscientists & Engineers. April 2017. DOI: [10.3997/2214-4609.201700291](https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700291).
22. Zeigman Y.V., Mukhametshin V.Sh., Sergeev V.V., Kinzyabaev F.S. Experimental study of viscosity properties of emulsion system with SiO₂ nanoparticles. Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 2, pp. 16–38. DOI: [10.15828/2075-8545-2017-9-2-16-38](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-2-16-38).
23. Zeigman Yu.V., Belenkova N.G., Sergeev V.V. Experimental research of stability of emulsion systems with SiO₂ nanoparticles. Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 5, pp. 36–52. DOI: [10.15828/2075-8545-2017-9-5-36-52](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-36-52).

24. Sergeev V.V., Belenkova N.G., Zeigman Yu.V., Mukhametshin V.Sh. Physical properties of emulsion systems with SiO₂ nanoparticles. Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 6, pp. 37–64. DOI: [10.15828/2075-8545-2017-9-6-37-64](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-6-37-64).
25. Sergeev, V., Kim, I., Zeigman, J., & Yakubov, R. (2018, November 12). Innovative Water-Blocking Agent Based on High Stable Emulsion with Nanoparticles for IOR Implementation. Society of Petroleum Engineers. DOI: [10.2118/192742-MS](https://doi.org/10.2118/192742-MS).
26. Sergeev V.V., Zainullin I.I., Zeigman Y.V., Yakubov R.N. Research for the selectiveness of emulsion systems with SiO₂ nanoparticles. Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 18–44. DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-6-18-44.
27. Sergeev V. V., Russikh K.G., Zeigman Y.V., Yakubov R. N. Experimental research of the impact of filtration processes on the dispersity of emulsion systems with nanoparticles. Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 1, pp. 31–41. DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-1-31-41](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-1-31-41).
28. Sergeev, V., Tanimoto, K. and Abe, M. The Water-Blocking Agent with Improved Properties for IOR Implementation. European Association of Geoscientists & Engineers. 08 April 2019. DOI: [10.3997/2214-4609.20190016](https://doi.org/10.3997/2214-4609.20190016).
29. Sergeev, V., Tanimoto, K., & Abe, M. (2019, November 11). Innovative Emulsion-Suspension Systems Based on Nanoparticles for Drilling and Well Workover Operation. Society of Petroleum Engineers. DOI: [10.2118/197510-MS](https://doi.org/10.2118/197510-MS).
30. Sergeev V.V., Sharapov R.R., Kudymov A.Y., Zeigman Y.V., Mukhametshin V.S. Experimental research of the colloidal systems with nanoparticles influence on filtration characteristics of hydraulic fractures. Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12, no. 2, pp. 100–107. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-2-100-107](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-100-107).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vitaly V. Sergeev, Cand. Sci. (Eng.), Head of Innovations, OILMIND LLC, Skolkovo Foundation, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8883-4381>, e-mail: sergeev@oilmind.ru

Kenji Tanimoto, Dr. Sci. (Chem.), Associate Executive Officer, General Manager of Environment, Safety & Quality Assurance Dept., Nissan Chemical Corporation, Nihonbashi 2-chome, Chuo-ku, Tokyo, Japan, e-mail: tanimotoke@nissanchem.co.jp

Masashi Abe, Researcher, Inorganic Materials Research Dept., Materials Research Laboratories, Nissan Chemical Corporation, Suzumi-cho, Funabashi-shi, Chiba, Japan, e-mail: abemas@nissanchem.co.jp

Rinat R. Sharapov, Head of Laboratory of Geomechanics research, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, e-mail: sharapovrr@bashneft.ru

Yury V. Zeigman, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of oil-gas fields development department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, e-mail: jvzeigman@gmail.com

Author declare the absence of any competing interests.

Received: 26.04.2020.

Revised: 22.05.2020.

Accepted: 28.05.2020.



Оценка влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород

В.В. Сергеев^{1*} К. Танимoto², М. Абэ², Р.Р. Шарапов³, Ю.В. Зейгман⁴

¹ ООО «ОИЛМАЙНД», Фонд «Сколково», г. Москва, Россия;

² Nissan Chemical Corporation, Токио, Япония;

³ ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия;

⁴ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия.

* Контакты: e-mail: sergeev@oilmind.ru

РЕЗЮМЕ: Смачиваемость поверхности каналов фильтрации жидкостей и газов в естественных условиях коллекторов нефти и газа является одним из параметров, во многом определяющих фильтрацию. Характер смачиваемости поверхности канала фильтрации определяет фазовую проницаемость, капиллярные силы и интенсивность адсорбции на границе раздела фаз. Способность поверхности канала фильтрации к смачиваемости полярной или неполярной фазами пластового флюида и технологических жидкостей оказывает влияние на фильтрационно-емкостные параметры нефтегазонасыщенных пород. В связи с этим при разработке нефтяных и газовых месторождений большое внимание уделяется изучению физико-химических явлений и процессов, происходящих на границах разделов фаз. В статье представлены результаты комплекса лабораторных экспериментов по исследованию поверхностной активности коллоидной системы в виде эмульсии со сверхзаряженными наночастицами. С целью оценки влияния эмульсионной системы с наночастицами на смачиваемость поверхности каналов фильтрации горных пород-коллекторов нефти и газа был проведен комплекс фильтрационных экспериментов с применением методики Горного бюро США (USBM). Исследования были проведены на кернах горных пород двух нефтегазовых месторождений Урало-Поволжского региона Российской Федерации. По методике эксперимента керны горных пород предварительно выдерживались при пластовых условиях для придания поверхности поровых каналов свойств, максимально приближенных к пластовым. После этого производилась оценка смачиваемости горных пород с измерением индекса смачиваемости USBM до и после фильтрации эмульсионной системы с наночастицами. Анализ результатов исследований показал, что фильтрация эмульсионной системы с высокой поверхностной активностью приводит к изменению смачиваемости горных пород с гидрофильтральной (индекс USBM – 0.60) на гидрообонную (индекс USBM – минус 0.32). Результаты исследований позволили сделать вывод о высоком потенциале применения эмульсионных систем со сверхзаряженными наночастицами для регулирования фильтрации пластовых флюидов и технологических жидкостей в природных коллекторах нефти и газа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наночастицы, двуокись кремния, эмульсионная система, смачиваемость, карбонаты, индекс USBM.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность Мэту Мацуумуре, главному менеджеру и Такаши Соноде, старшему менеджеру Департамента неорганических материалов, Nissan Chemical Corporation (Токио), которые сделали возможным проведение данного исследования и поддерживают научный подход к инновациям.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сергеев В.В., Танимoto К., Абэ М., Шарапов Р.Р., Зейгман Ю.В. Оценка влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 166–173. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-166-173.

ВВЕДЕНИЕ

Качество выработки запасов углеводородов, а также эффективность способов техногенного воздействия на природные коллекторы нефти и газа

в значительной степени определяются корректностью и актуальностью информации о характере смачиваемости поверхности каналов фильтрации горных пород. Определение смачиваемости поверхностей пластовых систем является нетривиальной

© Сергеев В.В., Танимoto К., Абэ М., Шарапов Р.Р., Зейгман Ю.В., 2020

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

задачей. При решении данной задачи рекомендуется в комплексе учитывать естественные геологические, физико-химические явления и процессы, происходящие на макро- и микроуровнях каналов фильтрации, а также геологическую трансформацию и изменение термобарических условий пластов в результате техногенного воздействия [1–8]. На этапе геологического формирования залежи смачиваемость поверхности горных пород определяется свойствами слагающих породу минералов и в динамике изменяется в зависимости от геологических трансформаций и свойств, насыщающих пласт многокомпонентных пластовых флюидов. В результате адсорбции молекул пластовых флюидов на поверхности поровых каналов создается пленка положительно или отрицательно заряженного флюида, что определяет смачиваемость поверхности порового канала. В процессе разработки залежи смачиваемость будет меняться вместе с изменением свойств пластовых флюидов ввиду нарушения термобарического равновесия пластовой системы, а также фильтрации в пласте технологических агентов. Большое количество методик экспериментального исследования смачиваемости поверхности горных пород было разработано во второй половине 20 века [9–17]. Одной из этих методик является методика Горного бюро США (USBM), в соответствии с которой смачиваемость горных пород оценивают по петле гистерезиса кривых капиллярного давления [5, 9]. Данная методика была применена авторами статьи для экспериментального исследования и оценки влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности каналов фильтрации

горных пород двух нефтегазовых месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В рамках подготовительных работ к проведению экспериментов проводили отбор и исследование кернов горных пород объектов разработки Башкирского ($C_{Баш}$) и Турнейского ($C_{Тур}$) ярусов по двум нефтегазовым месторождениям Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Подготовку кернового материала к исследованиям проводили согласно требованиям отраслевых и государственных стандартов [18–20].

С целью проведения экспериментов в условиях, максимально приближенных к пластовым, лабораторными способами моделировались начальные пластовые условия изучаемых объектов разработки. В качестве моделей пластовых флюидов использовались поверхностные пробы нефти, отобранные со скважин, вскрывших объекты $C_{Баш}$ и $C_{Тур}$. Краткая геолого-физическая характеристика объектов разработки приведена в табл. 1.

Пробы нефти помещали в металлический контейнер из нержавеющей стали и нагревали до температуры, превышающей на 20°C пластовую. При этой температуре нефть выдерживали в течение 3 часов при периодическом перемешивании. Далее ее охлаждали до пластовой температуры и фильтровали через пористую среду. Нефть считалась пригодной для испытаний, если при прохождении через цилиндрический образец керна фильтрация не затухала. Затем определяли плотность и вязкость полученной пробы нефти при пластовой температуре. С целью

Таблица 1

Краткая геолого-физическая характеристика объектов разработки $C_{Баш}$ и $C_{Тур}$

Наименование	Объект $C_{Баш}$	Объект $C_{Тур}$
Средняя глубина залегания кровли, м	1100	1450
Горные породы	известняки с прослойями доломитов	известняки доломитизированные
Тип коллектора	каверно-трещинный	смешанный
Коэффициент пористости, ед.	0,13	0,10
Коэффициент нефтенасыщенности, ед.	0,80	0,68
Проницаемость, 10^{-3} мкм^2	47,0	21,0
Начальная пластовая температура, °C	22,0	27,0
Вязкость нефти в пластовых условиях, $\text{мПа} \cdot \text{с}$	12,4	10,2
Плотность нефти при пластовой температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$	880	860
Вязкость воды при пластовой температуре, $\text{мПа} \cdot \text{с}$	1,29	1,38
Плотность воды в поверхностных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$	1108	1125

Таблица 2

Краткая фильтрационно-емкостная характеристика образцов кернов горных пород

Объект разработки	Номер образца керна	Пористость по газу, ед.	Проницаемость по газу, 10^{-3} мкм ²
$C_{Баш}$	1	0,20	13,4
	2	0,17	59,7
	3	0,14	6,9
$C_{Тип}$	4	0,12	12,2
	5	0,10	8,0
	6	0,13	11,6

моделирования остаточной водонасыщенности образцов кернов горных пород использовали модель пластовой воды, приготовленной с применением хлористого кальция.

Для проведения исследований было отобрано шесть цилиндрических образцов кернов со скважин объектов разработки $C_{Баш}$ и $C_{Тип}$. Краткая фильтрационно-емкостная характеристика образцов кернов представлена в табл. 2.

На этапе подготовки технологических жидкостей к проведению экспериментов были приготовлены лабораторные образцы эмульсионной системы с наночастицами двуокиси кремния (ЭСН). Коллоидная система ЭСН промышленно применяется в качестве водоограничивающего или нефте вытесняющего агентов в технологиях интенсификации добычи нефти или повышения нефтеотдачи пластов [21–30]. Применяемые в экспериментах наночастицы являются ультра-гидрофобными. Концентрация твердой и водной фаз образца ЭСН составили 0,5 и 81,5 % об. соответственно.

Оценку показателя смачиваемости поверхности горных пород проводили по методике Горного бюро США (индекс USBM), разработанной Дональсоном и др. [5, 9]. Данная методика основана на оценке смачиваемости по петле гистерезиса кривых капиллярного давления [5, 9–12]. Кривые капиллярного давления получали путем попаременного вытеснения воды и нефти из образцов керна при помощи центрифуги. В основе метода определения преимущественной смачиваемости горных пород лежит сравнение величины работы, необходимой для того, чтобы одна жидкость вытеснила другую. Площади, ограничиваемые на поле графика кривой капиллярного давления и осью абсцисс между двумя предельными значениями флюидонасыщенности, являются мерой работы, которую нужно затратить для вытеснения соответствующего флюида из образца. Для вытеснения несмачивающей фазы смачивающей фазой требуется меньше энергии, чем для вы-

теснения смачивающей фазы несмачивающей фазой. Следовательно, отношение площадей, ограниченных кривыми капиллярного давления, является прямым индикатором степени смачиваемости. Десятичный логарифм отношения площади, соответствующей случаю вытеснения воды нефтью (A_1), к площади, соответствующей случаю вытеснения нефти водой (A_2), используется в качестве показателя смачиваемости и называется индексом преимущественной смачиваемости I_{USBM} [5, 9].

Индекс смачиваемости USBM рассчитывается как логарифм отношения площадей по кривым капиллярного давления:

$$I_{USBM} = \log_{10} \cdot [A_1]/[A_2],$$

где A_1 и A_2 – площади кривых капиллярного давления.

Увеличение положительных значений до $+\infty$ указывает на возрастающее предпочтительное смачивание поверхности водой до бесконечной гидрофильности. Нулевое значение характеризует равное смачивание поверхности обоими флюидами (нейтральная смачиваемость). Увеличение отрицательных значений до $-\infty$ указывает на возрастающее предпочтительное смачивание поверхности нефтью до бесконечной гидрофобности [5, 9].

Последовательность проведения эксперимента:

1) помещали образцы, насыщенные водой (при остаточной нефтенасыщенности) в стаканы центрифуги и заполняли их нефтью так, чтобы она покрывала керн.

2) запускали центрифугу, ступенчато увеличивая скорость вращения ротора. При каждом очередном приращении скорости вращения измеряли количество вытесненной воды из образца. Образцы врашали на каждой ступени по 12 часов для достижения гидростатического равновесия.

3) после остановки ротора образцы взвешивали и экстрагировали в аппарате Закса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

В поставленных в рамках исследований экспериментах по определению смачиваемости горных пород можно выделить два основных этапа, задачами которых является определение смачиваемости поверхности кернов горных пород до и после фильтрации ЭСН.

На первом этапе исследований проводили эксперименты для определения смачиваемости образцов горных пород и расчетов индексов смачиваемости, которые были приняты за исходные для дальнейшего сравнительного анализа и оценки. Смачиваемость образцов кернов горных пород определяли по методике, приведенной ниже. Индексы смачиваемости образцов кернов горных пород определяли по методике, приведенной ниже.

Методика состоит из двух последовательных циклов обработки каждого образца керна:

- из водонасыщенных образцов вытеснялась вода нефтью с помощью центрифуги. На каждой ступени центрифугирования фиксировалось количество вытесненной воды для определения коэффициента остаточной водонасыщенности. Затем из образцов, насыщенных преимущественно нефтью, вытеснялась нефть водой с помощью центрифуги. На каждой ступени центрифугирования фиксировалось количество вытесненной нефти для определения коэффициента остаточной водонасыщенности. В результате были получены зависимости коэффициента остаточной водо-

насыщенности образцов пород от капиллярного давления (кривая «капиллярной пропитки»).

- из образцов, насыщенных преимущественно водой, вода вытеснялась нефтью с помощью центрифуги. На каждой ступени центрифугирования фиксировалось количество вытесненной воды для определения коэффициента остаточной водонасыщенности. В результате были получены зависимости коэффициента остаточной водонасыщенности от капиллярного давления (кривая «вторичного дренирования»).

На втором этапе исследований проводили аналогичный комплекс экспериментов и расчетов после фильтрации ЭСН в образцах кернов горных пород.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для определения интенсивности влияния ЭСН на смачиваемость каналов фильтрации карбонатных горных пород были проведены фильтрационные эксперименты по определению смачиваемости образцов кернов объектов разработки $C_{Баш}$ и $C_{Тур}$ в соответствии с методикой, представленной выше. Содержание наночастиц двуокиси кремния в образце ЭСН составляла 0,5% об. при содержании водной фазы – 81,5% об. Результаты фильтрационных экспериментов по снятию кривых капиллярного давления и определению смачиваемости по образцам кернов № 2 и 5 представлены на рис. 1–4.

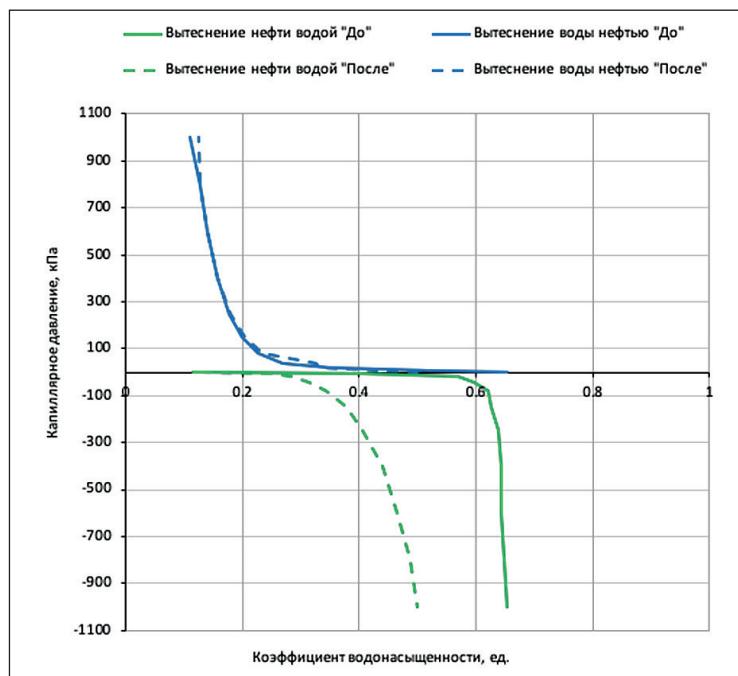


Рис. 1. Кривые капиллярного давления по образцу керна горных пород № 2 объекта разработки $C_{Баш}$ до и после фильтрации ЭСН

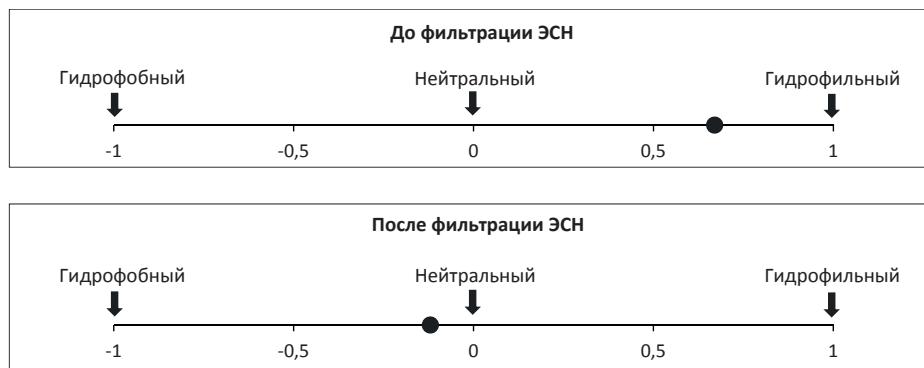


Рис. 2. Индекс смачиваемости USBM по образцу керна горных пород № 2 объекта разработки $C_{\text{Баш}}$ до и после фильтрации ЭСН

Результаты экспериментов, графически представленные на рис. 1, иллюстрируют значительное снижение капиллярного давления для вытеснения нефти водой после фильтрации коллоидной системы с наночастицами ЭСН в керне № 2. При этом не было зафиксировано существенного изменения кривой капиллярного давления для процесса вытеснения воды нефтью, что является неоднозначным результатом. На основании снятых кривых капиллярного давления были рассчитаны индексы смачиваемости USBM (рис. 2).

Результаты расчетов индексов смачиваемости по методу USBM, графически представленные

на рис. 2, показали, что коллоидные системы с наночастицами ЭСН оказывают значительное влияние на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород, обеспечивая возможность изменения индекса смачиваемости USBM с 0,67 (гидрофильная поверхность) до значения минус 0,12 (гидрофобная поверхность).

Результаты фильтрационных экспериментов, графически представленные на рис. 3, показали, что фильтрация коллоидной системы с наночастицами ЭСН в образце керна горной породы № 5 оказала существенное влияние на кривые капиллярного давления как для вытеснения воды нефтью, так и для

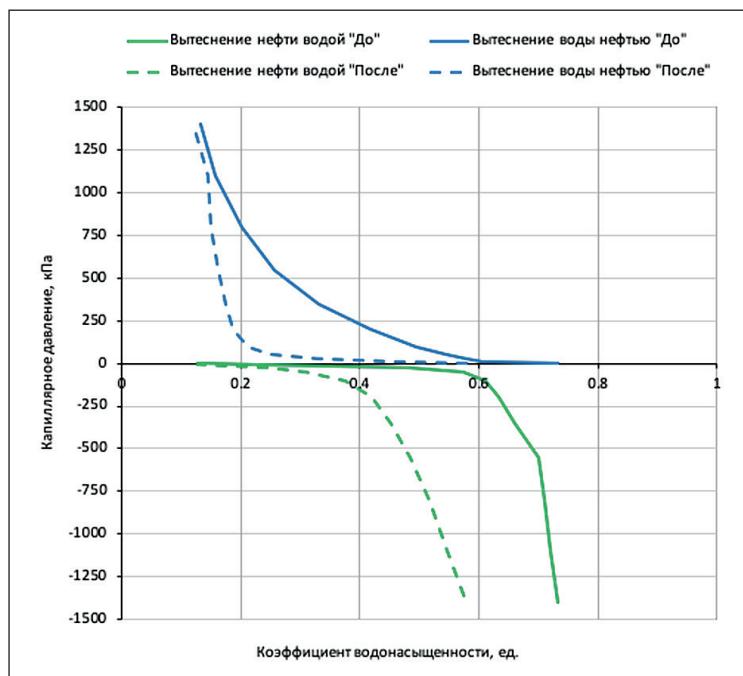


Рис. 3. Кривые капиллярного давления по образцу керна горных пород № 5 объекта разработки $C_{\text{Тип}}$ до и после фильтрации ЭСН

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

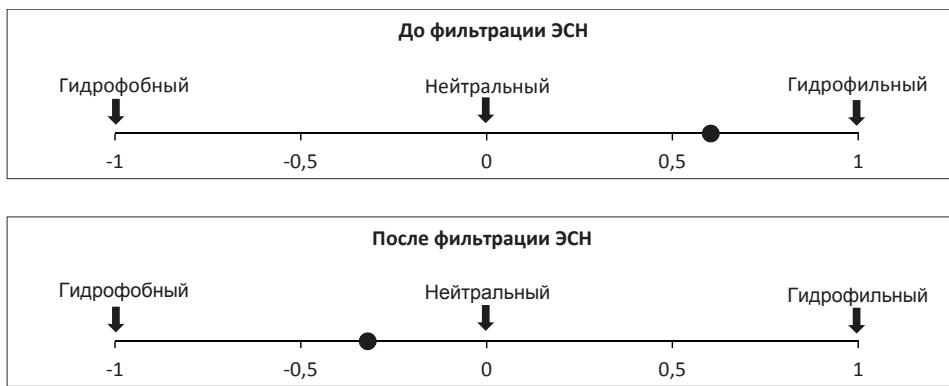


Рис. 4. Индекс смачиваемости USBM по образцу керна горных пород № 5 объекта разработки C_{Type} до и после фильтрации ЭСН

вытеснения нефти водой. В данных экспериментах фильтрация ЭСН привела к снижению капиллярного давления как для вытеснения воды нефтью, так и для вытеснения нефти водой, что не коррелируется с теоретическим пониманием зависимости между преимущественной смачиваемостью поверхности горных пород и эффективностью процесса вытеснения. На основании снятых кривых капиллярного давления были рассчитаны индексы смачиваемости USBM (рис. 4).

Результаты расчетов индексов смачиваемости по методу USBM, графически представленные на рис. 4, показали, что коллоидная система с наночастицами ЭСН оказывает значительное влияние на смачиваемость поверхности горных пород, обеспечивая возможность изменения индекса смачиваемости USBM с 0,60 (гидрофильная поверхность) до значения минус 0,32 (гидрофобная поверхность).

Сравнительная оценка влияния ЭСН на индекс смачиваемости поверхности карбонатных горных пород приведена в табл. 3 и на рис. 5.

По результатам фильтрационных экспериментов было установлено, что фильтрация коллоидной

системы ЭСН в кернах карбонатных горных пород с преимущественной гидрофильностью поверхности приводит к снижению степени гидрофильности или абсолютному изменению смачиваемости поверхности каналов фильтрации горных пород (рис. 5). По образцам кернов № 1 и 3 было зафиксировано снижение степени гидрофильности поверхности с 0,76 и 0,74 до 0,19 для обоих образцов (в среднем для двух образцов снижение индекса USBM составило 0,56). Более существенные изменения смачиваемости поверхности наблюдались по результатам экспериментов на образцах кернов № 2, 4, 5 и 6, поверхность которых стала гидрофобной после фильтрации ЭСН. Наивысший уровень абсолютного изменения смачиваемости поверхности горной породы с максимального значения 0,60 (гидрофильная поверхность) до минимального значения минус 0,32 (гидрофобная поверхность) был зафиксирован по образцу № 5. В среднем по шести образцам кернов индекс USBM снизился с 0,52 (гидрофильная поверхность) до минус 0,04 (нейтральная смачиваемость).

Таблица 3
Смачиваемость поверхности горных пород объектов разработки $C_{\text{Баш}}$ и C_{Typ} до и после фильтрации ЭСН

Объект разработки	Номер образца керна	Индекс смачиваемости I_{USBM}	
		До фильтрации ЭСН	После фильтрации ЭСН
$C_{\text{Баш}}$	1	0,76	0,19
	2	0,67	-0,12
	3	0,74	0,19
C_{Typ}	4	0,21	-0,02
	5	0,60	-0,32
	6	0,11	-0,17

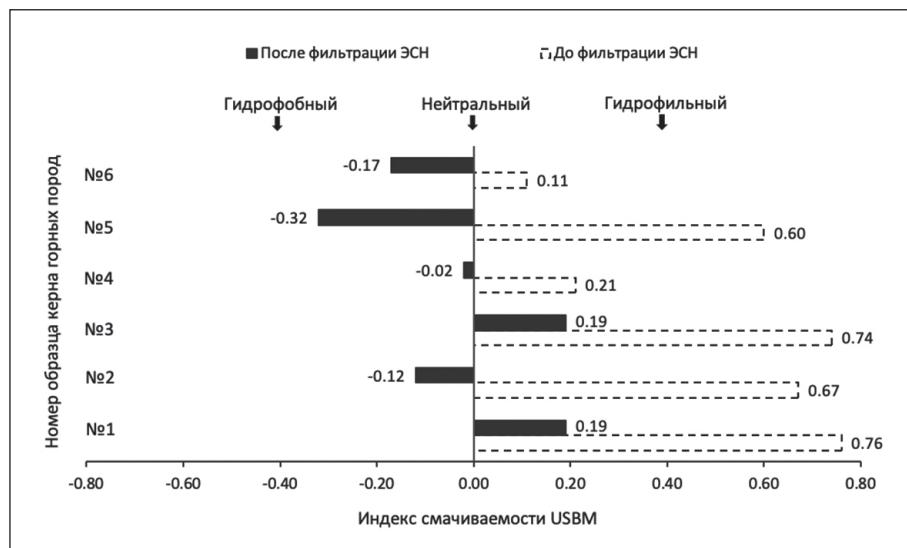


Рис. 5. Индекс смачиваемости поверхности горных пород до и после фильтрации ЭСН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты комплекса лабораторных экспериментов по исследованию влияния коллоидных систем с наночастицами ЭСН на смачиваемость поверхности каналов фильтрации горных пород показали высокую технологическую функциональность применения ЭСН для регулирования смачиваемости поверхности флюидонасыщенных трещинно-пористых сред. Анализ результатов исследований показал, что фильтрация ЭСН в кернах горных пород нефтегазовых месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции в четырех из шести экспериментов привела к абсолютному изменению смачиваемости поверхности каналов фильтрации с гидрофильной на гидрофобную. Наиболее высокий уровень изменения смачиваемости поверхности горных пород оцененный через индекс USBM был зафиксирован по образцу № 5, в котором индекс смачиваемости USBM был

снижен с 0,60 до минус 0,32. Для инженеров-нефтяников возможность регулирования смачиваемости горных пород представляет собой высокоэффективный механизм регулирования разработки нефтяного и газового пласта, т.к. изменение смачиваемости каналов фильтрации нефтегазожидкостных смесей позволяет изменять направления фильтрационных потоков в призабойной зоне нефтегазоносного пласта. Изменение смачиваемости каналов фильтрации горных пород является эффективным рычагом воздействия на такие явления как межфазное натяжение, капиллярное давление и капиллярная пропитка, которые в свою очередь определяют темп и качество выработки запасов нефти и газа. Результаты экспериментов свидетельствуют о высокой перспективности применения коллоидных систем со сверхзаряженными наночастицами двуокиси кремния для регулирования фильтрации жидкостей в нефтегазоносных трещинно-пористых средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Baker E.G. Origin and Migration of Oil. Science. 1959;129(3353):871-874. DOI: 10.1126/science.129.3353.871.
- Blackwell, R.J., Rayne, J.R., and Terry, W.M., 1959. Factors influencing the efficiency of miscible displacement. Trans. AIME, v. 216: 1–8.
- Bonham, L.C. 1980. Migration of hydrocarbons in compacting basins: (Abs. in AAPG Bulletin, v. 62, 1978: 498); 1980, AAPG Studies of Geology 10: 69–88.
- Buckley, J.S., and Liu, Y. 1998. Some mechanisms of crude oil/brine/solid interactions. J. Petrol. Sci. and Eng., v. 20 (Jun): 155–160.
- Donaldson, E., & Alam, W. 2013. Wettability. Burlington: Elsevier Science.
- Михайлов Н.Н., Моторова К.А., Сечина Л.С. Геологические факторы смачиваемости пород-коллекторов нефти и газа // Деловой журнал «Neftegas.ru». – 2016. – № 3. – С.80–90.
- The Effect of the Pore Space Microstructure on Hydrophobization of Oil and Gas Reservoirs. Moscow University Geology Bulletin. – 2016.–№6.–71.–Р. 436–444. Mikhailova N.N., Kuz'min V.A., Motorova K.A., Sechina L.S. SCOPUS.
- Михайлов Н.Н., Гурбатова И.П., Моторова К.А., Сечина Л.С., Новые представления о смачиваемости коллекторов нефти и газа / Нефтяное хозяйство. – 2016. – №7. – С. 80–85.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

9. Tiab, D. & Donaldson, E. 2015. Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties (4th ed.). Amsterdam, Netherlands: Gulf Professional Publishing.
10. Donaldson, E.C, Lorenz, P.B. and Thomas, R.D. «Wettability Determination and its Effect on Recovery Efficiency». Soc. Petrol. Eng. J., Vol. 9, No. 1, March 1969, pp. 13–20.
11. Donaldson, E.C, Kendall, R.F., Pavelka, E.A. and Crocker, M.E. «Equipment and Procedures for Fluid Flow and Wettability Tests of Geological Materials». U.S. Dept. Energy report DOE/BETC/IC-79/5, 1980, Nat. Tech. Info Sv., Springfield, VA, 40 pp.
12. Kwan, M.Y. «Measuring Wettability of Unconsolidated Oil Sands Using the USBM Method». JPSE, Vol. 21, Sept. 1998, pp. 61–78.
13. R.J.S. Brown, I. Fatt, Measurement of fractional wettability of oil fields rocks by the nuclear magnetic relaxation method. Trans. AIME 207. 1956, pp. 262–264.
14. P. Alba, Discussion on effect of fractional wettability on multiphase flow through porous media. Trans. AIME 216. 1958, pp. 426–432.
15. Anderson W.G. Wettability Literature Survey-Part 4: Effects of Wettability on Capillary Pressure. Society of Petroleum Engineers. 1987. DOI: 10.2118/15271-PA.
16. Anderson W.G. Wettability Literature Survey Part 5: The Effects of Wettability on Relative Permeability. Society of Petroleum Engineers. 1987. DOI: 10.2118/16323-PA.
17. Anderson W.G. Wettability Literature Survey-Part 6: The Effects of Wettability on Waterflooding. Society of Petroleum Engineers. 1987. DOI: 10.2118/16471-PA.
18. ГОСТ 26450.1-85. Породы горные. Методы определения коллекторских свойств. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением. – Москва: Изд. Стандартинформ, 1985. – 8 с.
19. ГОСТ 39-204-86. Нефть. Метод лабораторного определения остаточной водонасыщенности коллекторов нефти и газа по зависимости насыщенности от капиллярного давления. – М.: Стандартинформ, 1986. – 24 с.
20. ГОСТ 8.417-2002 Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. Москва: Изд. Стандартинформ, 2003. – 26 с.
21. Sergeev, V., Zeigman, Y. and Kinzybaev, F. Water-blocking Solution Based on Emulsion with SiO₂ Nanoparticles Content for Reservoir Stimulation Technologies. European Association of Geoscientists & Engineers. April 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201700291.
22. Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.Ш., Сергеев В.В., Кинзыбаев Ф.С. Экспериментальное исследование вязкостных свойств эмульсионных систем с содержанием наночастиц SiO₂ // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 2. – С. 16–38. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-2-16-38.
23. Зейгман Ю.В., Беленкова Н.Г., Сергеев В.В. Экспериментальное исследование стабильности эмульсионных систем с содержанием наночастиц SiO₂ // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 5. – С. 36–52. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-5-36-52.
24. Сергеев В.В., Беленкова Н.Г., Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.Ш. Физические свойства эмульсионных систем с содержанием наночастиц SiO₂ // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 6. – С. 37–64. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-6-37-64.
25. Sergeev, V., Kim, I., Zeigman, J., & Yakubov, R. (2018, November 12). Innovative Water-Blocking Agent Based on High Stable Emulsion with Nanoparticles for IOR Implementation. Society of Petroleum Engineers. DOI: 10.2118/192742-MS.
26. Сергеев В.В., Зайнуллин И.И., Зейгман Ю.В., Якубов Р.Н. Исследование селективности действия эмульсионных систем с наночастицами SiO₂ // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 6. – С. 18–44. – DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-6-18-44.
27. Сергеев В.В., Русских К.Г., Зейгман Ю.В., Якубов Р.Н. Исследование влияния процессов фильтрации на дисперсность эмульсионных систем с наночастицами // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 1. – С. 31–41. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-31-41.
28. Sergeev, V., Tanimoto, K. and Abe, M. The Water-Blocking Agent with Improved Properties for IOR Implementation. European Association of Geoscientists & Engineers. 08 April 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201900162.
29. Sergeev, V., Tanimoto, K., & Abe, M. (2019, November 11). Innovative Emulsion-Suspension Systems Based on Nanoparticles for Drilling and Well Workover Operation. Society of Petroleum Engineers. DOI: 10.2118/197510-MS.
30. Сергеев В.В., Шарапов Р.Р., Кудымов А.Ю., Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.Ш. Экспериментальное исследование влияния коллоидных систем с наночастицами на фильтрационные характеристики трещин гидравлического разрыва пласта // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 2. – С. 100–107. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-100-107.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергеев Виталий Вячеславович, кандидат технических наук, директор по инновациям ООО «ОИЛМАЙНД», Фонд «Сколково», г. Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8883-4381>, e-mail: sergeev@oilmind.ru

Танимото Кенджи, доктор химических наук, зам. исполнительного директора по НИОКР, Nissan Chemical Corporation, Токио, Япония, e-mail: tanimotoke@nissanchem.co.jp

Абэ Масаши, научный сотрудник департамента НИОКР, Nissan Chemical Corporation, Токио, Япония, e-mail: abemas@nissanchem.co.jp

Шарапов Ринат Расихович, заведующий лабораторией геомеханических исследований, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: sharapovrr@bashneft.ru

Зейгман Юрий Вениаминович, доктор технических наук, профессор, зав. каф. «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: jvzeigman@gmail.com

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 26.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 22.05.2020.

Статья принята к публикации: 28.05.2020.



Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings.

Part 1

V.V. Belozerov¹ , A.I. Golubov², I.E. Kalchenko^{2*}, T.A. Nguyen³ , N.G. Topolsky² 

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

² Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Management, Moscow, Russia

³ Fire Safety Institute, Hanoi, Vietnam

* Corresponding author: ivanrnd@mail.ru

ABSTRACT: **Introduction.** The aim of the study was to optimize the quality control of fire retardant coatings (FRC) during their production and use. The results of a comparative analysis of the consequences of fires and their causes with the parameter of fire resistance of objects indicate that the number of fires and damage from them in buildings of the first degree of fire resistance is almost an order of magnitude smaller than in buildings of the second degree of fire resistance. Consequently, increasing the fire resistance of building materials and structures is the way to radically reduce fires and losses from them. **Methods and materials.** Based on a system analysis of existing fire protection technologies for building materials made of wood, metals, rubber and polymers, nanotechnologies were developed to determine the stability of samples with an FRC on the baro-electro-thermo-acoustic (BETA) analyzer and create their «images» for further diagnosis of their aging at the constructions and operation facility. The novelty of the study is protected by patents of the Russian Federation. **Results and discussion.** The obtained results consist in the refinement of computational algorithms for the FRC in the BETA analyzer, as well as in the development of a portable automated complex, which allows to determine the stage of «aging» of the FRC on these materials, and, consequently, their durability and update time. This conclusion is based, firstly, on the results of the development of a thermo-electro-dilatometer crucible for controlling liquid and viscous materials by the authors of the «float design», which will make it possible to control the FRC characteristics during their production, and secondly, to carry out express control after filling them in containers (polymer, metal, glass) without opening it and thirdly, due to the recognition of these «images» using thermo-electro-measurements of the FRC using special probes connected to a portable automated system. **Conclusion.** The results obtained make it possible to «arm» with portable automated systems not only construction and fire control authorities, but also manufacturers of emergency protection products. This will allow, according to the authors, to fundamentally solve the problems of quality and durability of FRC, but the main thing is to guarantee the stability of the protected materials and structures from them.

KEYWORDS: fire retardant coatings, degree of fire resistance, materials and structures, quality of fire retardant coatings, durability of fire retardant coatings, thermo-electro-acoustic method, heat conductivity, thermal diffusivity, heat capacity, aging of fire retardant coatings.

FOR CITATION: Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Nguyen T.A., Topolsky N.G. Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings. Part 1. Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12, no. 3, pp. 174–184. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184.

INTRODUCTION

Over the past 15 years, every year in Russia [1], an average of 200 thousand fires have been recorded,

as a result of which about 13 thousand people die and almost as many are injured (Table 1).

Table 1
Statistics of fires and their consequences in Russia

Indicators	Years									Average value
	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	
Fires (thousand)	239.2	229.8	212.6	187.5	168.5	153.5	145.6	132.4	471.1	215.6
Killed (people)	19303	18412	16066	13946	12019	10601	9377	7782	8507	12890
Injured (people)	14032	13362	13688	13269	12516	11132	10920	9305	9474	11966
Damage from fires (billion rubles)	4.2	6.7	8.7	12.2	18.2	14.9	18.8	14.1	13.6	12.9

The average value of the dead and injured is almost 25.000 Russians, which for the country's 145 million people more than 170 times (!) exceeds the requirements of a standard requiring a population safety of at least 0.999999 [2].

Moreover, the average annual percentage indicators of the causes of fires and the facilities at which they occurred are as follows [1]:

- residential buildings – 69.7% of fires, including 40.1% due to malfunction and violation of the rules for operating electrical appliances, gas and stove heating, due to careless handling of fire – 33%, arson – 10%, others – 13.6%;
- vehicles – 14%,
- public buildings – 4.2%,
- production facilities – 2.1%,
- warehouses – 0.9%,
- agricultural facilities – 0.4%.

Leaving the analysis beyond the scope of this article, the «reduction» in the number of fires and those affected by them, due to changes in accounting methods, and based on the «growth» of direct material losses, we agree with the following reasons for the deterioration of fire safety [3]:

Firstly, due to the «aging» of fixed assets and violation of technical regulations requiring periodic monitoring and restoration of safety parameters of facilities and equipment,

Secondly, due to the emergence of new fire hazardous technologies, machinery and equipment, requiring the use of adequate methods and means of diagnosis and suppression of their fire and explosion hazard,

Thirdly, the widespread use of flammable and combustible substances and materials in the home and at work, which increases the risk of accidents, explosions and fires.

Due to the fact that both in production and in everyday life, it is not always possible to do without the use of combustible materials, manufactures and products, methods for processing them with special means – paints and coatings, including nanostructured and polymerizable

compositions that ensure their protection against operational impacts (moisture, temperature fluctuations, etc.) and in emergency situations (emergencies) – lightning, fires, explosions.

This article discusses fire retardant coatings (FRC), which are designed to protect building materials, constructions and products from them for engineering systems of buildings from the dangerous factors of fire (DFF).

The fact is that the existing methods and tools for diagnosing and monitoring the properties of FRC are differentiated (for steel constructions – fire safety standards 236-97; for wood – fire safety standards 251-98; for cables – fire safety standards 238-97, etc.), and do not use characteristics of protected materials and products, for an objective assessment of changes in their properties under the influence of emergency conditions, which gives rise to a mismatch between the actual fire hazard of the facilities and their calculations in declarations of their fire safety [4, 5].

This situation was formed because the tools for monitoring the operational stability of facilities, incl. using FRC, almost none. In connection with this, a **scientific and technical problem arose** – the development of methods and means of objective control, firstly, the quality of the FRC in their production, i.e. in the liquid phase, and secondly, and this is the main thing – diagnostics of the durability and fire resistance of products and constructions with FRC during their operation at various facilities (residential, administrative, commercial, etc.) [5, 6].

Various construction materials, structural elements and engineering systems, buildings in general, behave differently in emergency situations, and therefore, a need has arisen for a special indicator with which to compare the ability of objects to resist the effects of fire. As such an indicator, the concept of the degree of fire resistance of objects (from first to fifth) was introduced, which are international fire-technical characteristics that differ in times during which materials, constructions and buildings can resist DFF [7].

However, such a latent form of the fire resistance parameter does not allow their use in the equations of Semenov, Zeldovich and Frank-Kamenetsky, on which the theory of combustion and explosion is based, and therefore, it became necessary to develop new methods and

means of diagnostics and control the stability of building materials and constructions from them, including with FRC, which would allow for the objective control of their design and operational stability, including in emergency situations [6, 8].

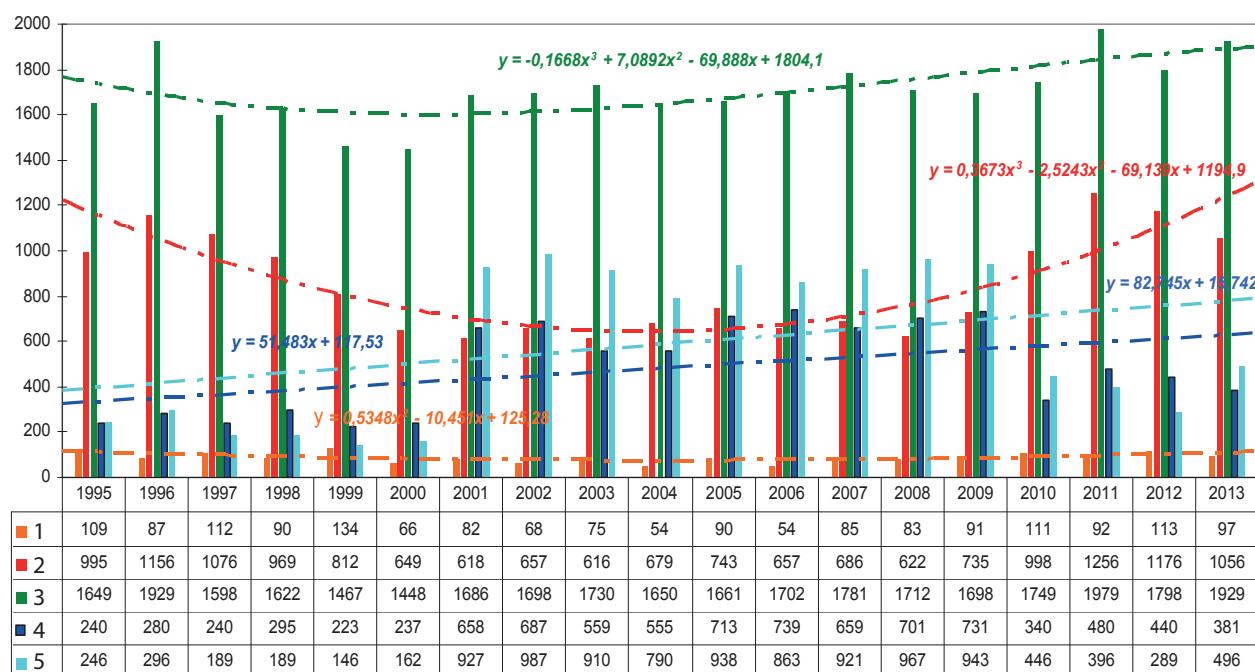


Fig. 1. Histograms of the number of fires in buildings I–V degrees of fire resistance

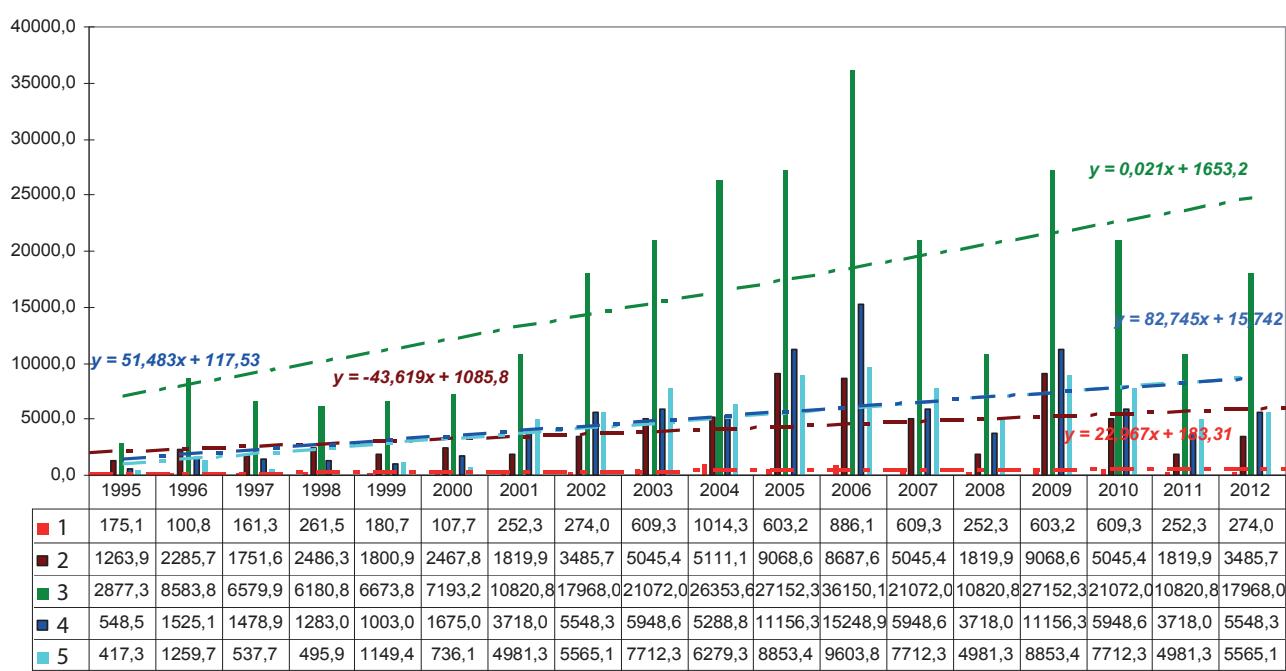


Fig. 2. Histograms of losses from fires in buildings of I–V degree of fire resistance (thousand rubles)

The results of a comparative analysis of the consequences of fires (death, injuries, material losses, destroyed and damaged areas) and their causes with the fire resistance parameter of objects show (Figs. 1 and 2) that the number of fires and damage from them in buildings of the Ist degree of fire resistance is practically an order of magnitude less than in buildings of the IInd degree of fire resistance. Consequently, increasing the fire resistance of building materials and constructions is the way to radically reduce fires and losses from them [4, 8].

METHODS AND MATERIALS

As our research and development has shown, the most acceptable method for testing any building materials is the method and complex of baro-electro-thermo-acoustometry (BETA), which implements a combined influence on a sample of material (Figs. 3 and 4) [6, 8].

The BETA analyzer allows you to get all the necessary characteristics, as well as to determine the existing and additional indicators of their fire hazard, because registers and calculates the 38th parametric vector function of the «life cycle» (VFLC) of the material under operating

conditions – F [P, T, mi, l_p, ρ_p, λ_p, a_p, Cp_p, Cv_p, β_p, γ_p, ξ_p, h_p, χ_p, ψ_p, H_p, Fo_p, B_p, E_p, K_p, G_p, v_p, ρ_g•l/E_p, σ_p, |Z_p|, C_p(R), tgo_p, ε_p, μ_p; ui • l_i²/σ_it, L_i/R_it, ε_i•σ_i/t, C/σ_it, Na_p, U_p, G_p, η_p] [9, 10].

The BETA analyzer was created as part of the START program project No. 5823 [10] and, in contrast to the well-known synchronous thermal analysis devices (STA), which use linear modes of temperature and pressure changes, uses the adaptive thermo-barocycle method (ATBC), working stepwise (Fig. 5) [11].

This makes it possible to obtain «quasistationary» sections (temperature and pressure) in the vicinity of «singular points» (phase transitions, etc.), and, therefore, correctly calculate the thermodynamic characteristics of the material, which ensures the reliability of the results obtained, and also made it possible to set solve the problem of «accelerated aging of materials» in operating conditions [10, 11].

To implement the ATBC method, a thermo-cryostat-electric furnace was developed (Fig. 6), in which the heating and cooling processes were combined by using a nichrome electric heater, and as an SF6 cooler (R-510) in each of 8 sections, controlled by a controller (TREI-5B-05), which made it possible to ensure «quasistationary

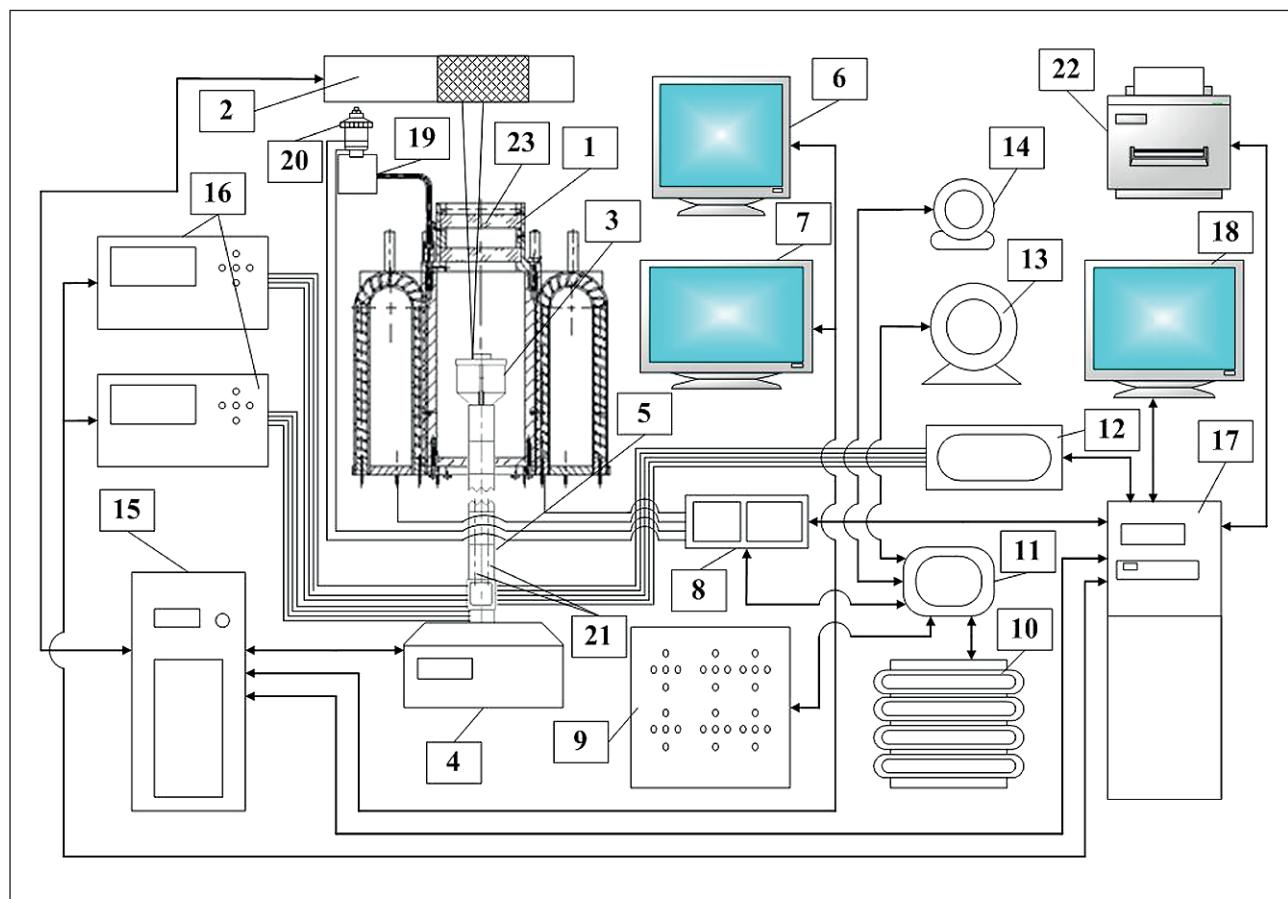


Fig. 3. Block diagram of a BETA analyzer



Fig. 4. Appearance of the BETA analyzer

1 – file server (FS); 2 – Gravioacoustic-electrometric module (GAEM); 3 – subject table (PS); 4 – meter of immitance E7-20; 5 – modified thermocryostat-electric furnace (TKSEF); 6 – meter of immitance E7-20; 7 – control modules TKSEF, compressor and foreline pump (ISM); 8 – FT-801 IR Fourier spectrometer; 9 – 1st FS monitor; 10 – color printer; 11 – master module M902E MFC «TREI-5V-05»; 12 – monitor workstation (PC); 13 – 2nd FS monitor; 14 – workstation (PC); 15 – reverse heat/cold circuit (RCT); 16 – forevacuum pump; 17 – compressor; 18 – operator workstation with keyboard and mouse

temperature sections» with high accuracy. In a similar way (a compressor and a fore-vacuum pump with electromagnetic valves), «quasistationary pressure sections» were ensured [10, 11].

In addition to accelerated aging of the material sample during testing, this approach made it possible to modify and synchronize ten different methods of thermal analysis and one metrological method, namely:

- **thermobarogravimetry (TBG)**, implemented by WZA-224CW magnetometric scales (Sartorius company) with a built-in 200 g calibration weight controlled by a computer, which allows them to be calibrated with restoring the tare mass (crucible of a thermo-electro-dilatometer on a thermo acoustic rod-waveguide – TED TARW) at any time (which is especially important with thermo-baro-cycles), with a resolution of measuring the

mass of a sample (up to 50 g) – m at 10 micrograms, and in double-precision mode – differential thermo-barogravimetry (DTBG) with a resolution of dm/dT – up to 1 micrograms /grad [9,10];

- **thermobarodilatometry (TBD) and differential thermobarodilatometry DTBD**, which is implemented by a crucible (Fig. 7 «a») with a thermoelectro-dilatometer (TED) and two immitance meters (E7-20) controlled by a computer that calculates the linear size of the sample – l and its changes – dl/dT and dl/dP , regardless of the type of material (dielectric, conductor, semiconductor), due to the design of the TED and the presence of its exact parameters (diameter, height from the bottom to the cover, thickness of the movable cover), according to a unified equivalent circuit and general mathematical model (1) [9, 10].

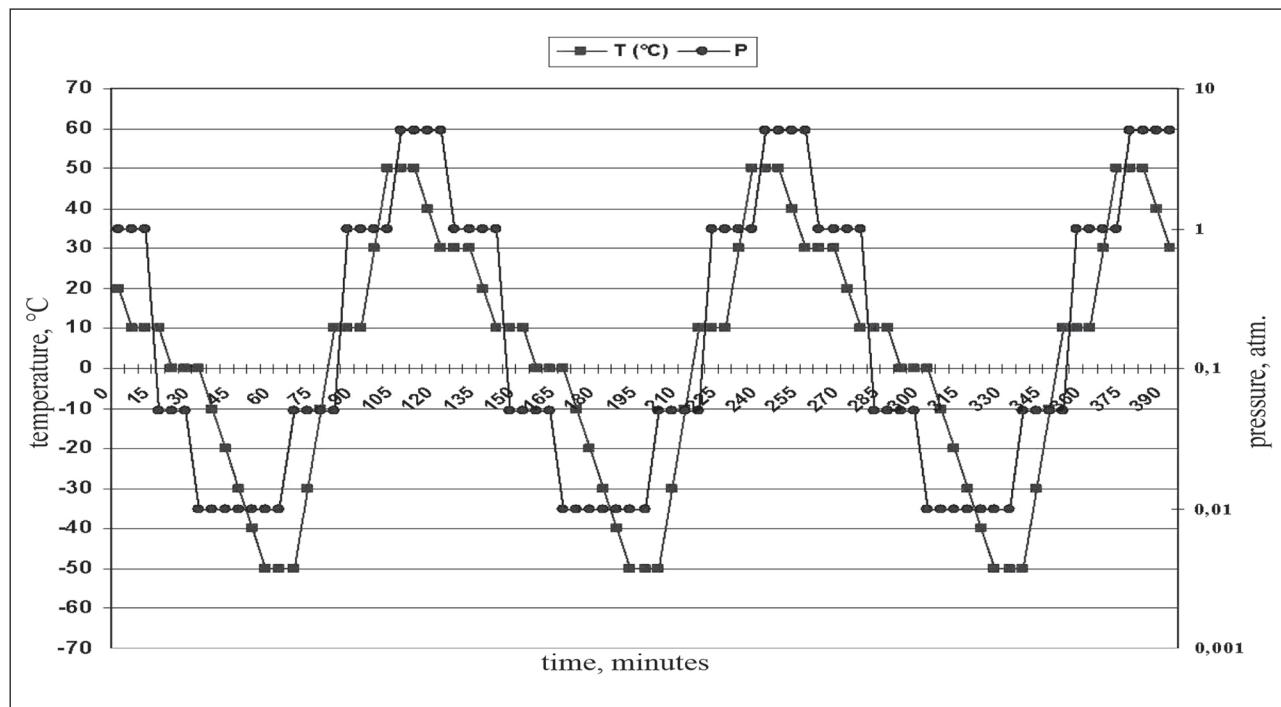


Fig. 5. Adaptive Thermo-Baro Cycle

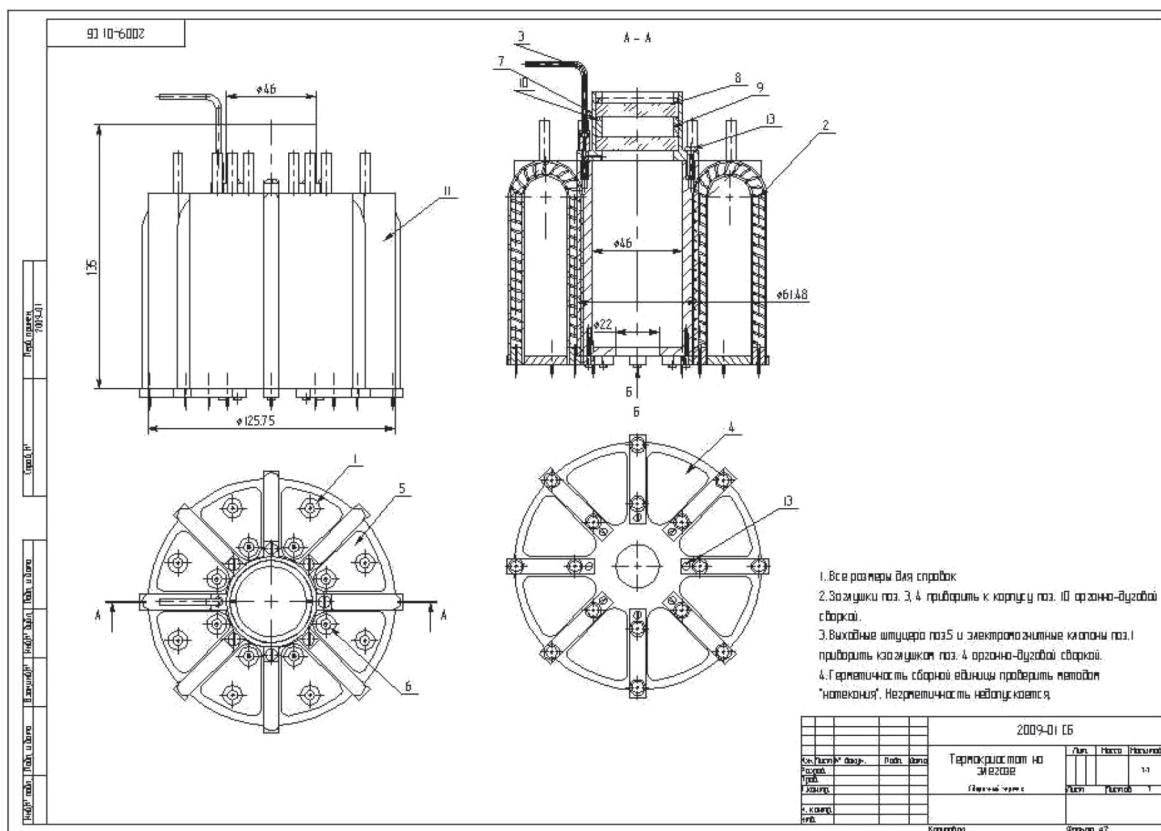


Fig. 6. Assembly drawing of a thermo-cryostat-electric furnace (TCSEF)

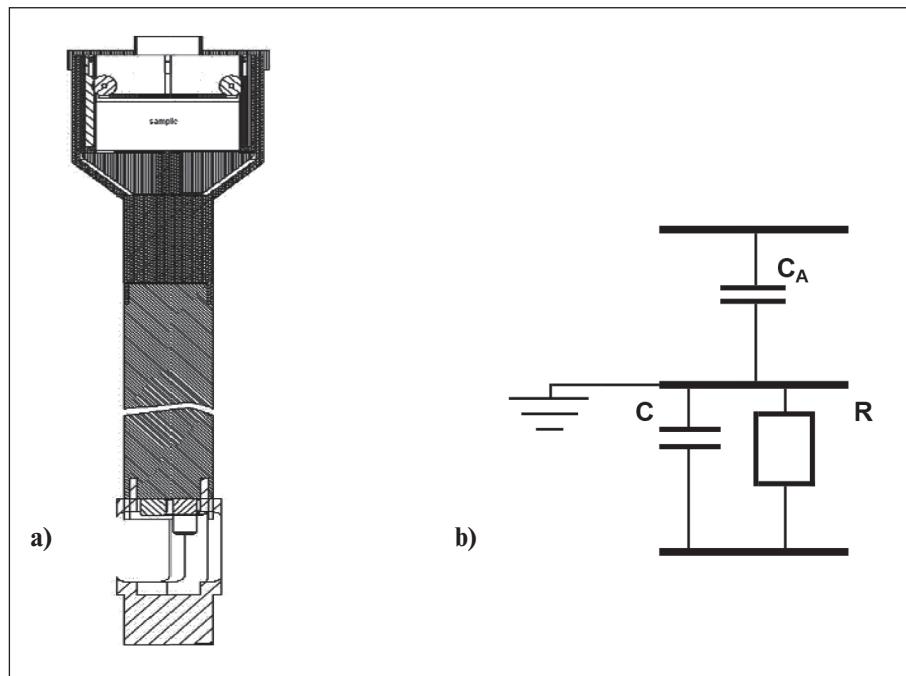


Fig. 7. Crucible thermo-electro-dilatometer (TED) and its equivalent circuit

$$\left\{ \begin{array}{l} l_A = \frac{\varepsilon_A \cdot \varepsilon_0 \cdot \pi D^2}{4C_A} \\ l = h_{TED} - h_{mp} - l_A \\ \varepsilon = \frac{4l \cdot C}{\varepsilon_0 \cdot \pi D^2} \\ r = \frac{R \cdot \pi D^2}{4l} \end{array} \right. , \quad (1)$$

where l is the linear size of the sample in the TED; D is the diameter of the movable plate TED; ε_0 is the dielectric constant of vacuum; C is the capacity between the movable lining and the bottom of the TED; l_A is the distance from the mobile plate to the TED cover; C_A is the capacity between the movable cover and the TED cover; ε_A is the dielectric constant of the air between the movable plate and the TED cover; R is the resistance of the sample; h_{TED} – TED height (from the bottom to the cover); h_{mp} is the thickness of the movable plate.

• **thermo-baro-densimetry (TBD)**, which is a new method of thermal analysis, because calculates the density of the sample – ρ and its changes – $d\rho/dT$ and $d\rho/dP$ (according to changes in the mass and volume of the sample), due to the synchronization of thermogravimetry and thermodilatometry (TG, DTG, TD and DTD), which have not been matched to date in any devices of thermal analysis [10];

- **differential scanning calorimetry (DSC)** and the calibrated heat flux method (practically according to GOST 25380-2014), implemented in the same TED using the «reference section with air medium» (Fig. 8), which, in addition to thermal conductivity, λ , thermal diffusivity, a and the specific heat of the sample – C (at constant temperature and at constant pressure), determine all calorific and thermal coefficients: $\xi = dQ_T/dV$, $h = dQ_T/dP$, $\chi = dQ_P/dV$, $\psi = dQ_V/dP$, $\beta = -(dV/dP)/V$, $\gamma = (\partial P/\partial T)/P$, thanks to the adaptive thermo-baro cycles (Fig. 5) and the design of the TED creating calibrated heat fluxes into the sample (Q and q), because heat dissipation by zirconia ceramics of TED walls (1.3 W/m · K) is two orders of magnitude lower (1%) than molybdenum (118–138 W/m · K) in the operating temperature range (heat dissipation and error can be reduced to 0.1% if the TED is made of nanostructured or wollastonite ceramic [12] having a thermal conductivity of 0.035–0.5 W/m · K);

- **differential-barothermic analysis (DBTA)** – implemented in the same TED as a «reference section of the air» (vacuum or air as a reference), as a result of which the enthalpy from the heat balance equation is correctly determined: $\Delta m dH/dt + \lambda (T_0 - T_m) = m C_p \Delta T$ [5];

- **electrometry, incl. dielectric analysis (DEA)** and electromagnetic analysis (EMA), implemented by TED and emittance meters (E7-20), controlled by a computer that calculates the functions of the dielectric (ε) and magnetic permeability of the sample (μ), measuring ca-

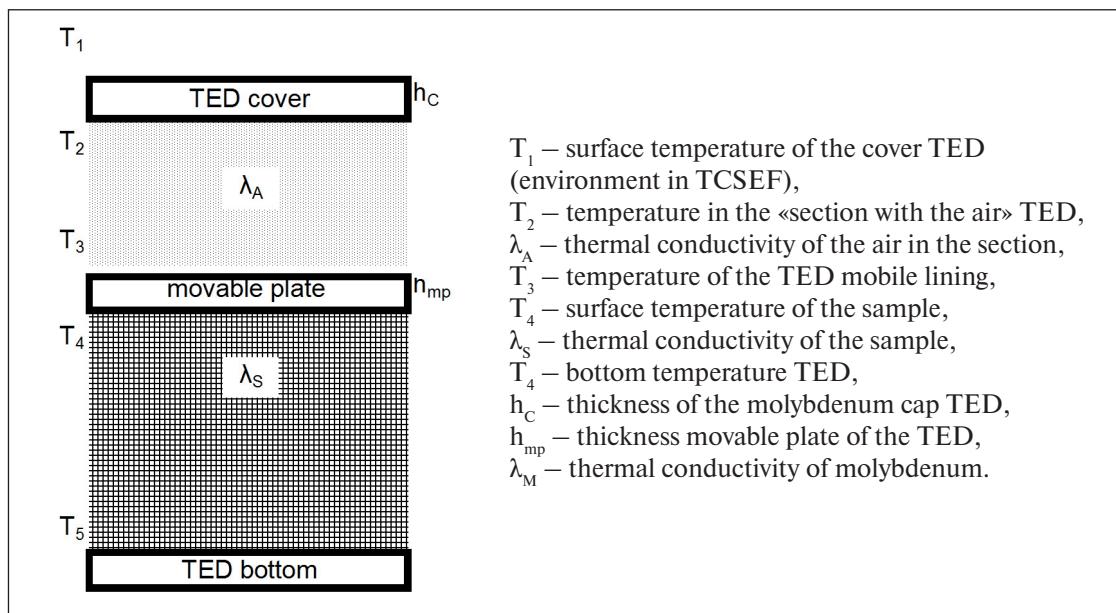


Fig. 8. Scheme for measuring heat flux and thermal conductivity of a sample in a TED

pacitance, complex resistance and finding the extremes of the tangent loss angle in the range 25–10⁶ Hz, after which, solving the impedance equations, presents them in a «3-dimensional combination» of coordinates (T, P, ω), calculating the criteria of homo-chronic at the extremes points ($H_{O_3} = \varepsilon P/t$, $H_{O_2} = \mu L^2/pt$ and $H_{O_5} = C/Gt$) [13];

- **dynamic and thermal mechanical analysis** (DMA and TMA) - implemented using data from the LDP and DBTA and the connection β with the bulk modulus ($K = 1/\beta$), which are used to calculate the remaining moduli of elasticity $E = P \cdot l/\Delta l$, $G = 3E/(9-\beta \cdot E)$, $v = (E-2G)/2G$, $\mu\mu = G$, $\lambda\lambda = (1-2\beta \cdot \mu)/3\beta$, as well as the second similarity criterion for elastic strains, equal to pgl/E , and the tangent of the angle of mechanical losses [6, 10];

- **acoustic emission analysis** (AE), implemented by 2 AE-sensors mounted on 2 thermo-acoustic rod-waveguides located in the ceramic «leg» of the TED, the segments of which form the «bottom» in the TED in contact with the sample, which they are connected to the ALine-32 PCI8 module («Interunis» company), which determines, through two independent channels, the flow intensity (quantity per unit time) of AE acts – dN_a/dt , their total number – N_a , amplitudes – U , and also the spectral composition of radiation – $G(f)$, which allows us to study the kinetics of changes in the sample and the diagnosis the earliest stages of the processes, as well as to calibrate measuring circuits AE, switching one of the sensors in a radiation mode from a reference oscillator [5, 14];

- **IR Fourier spectrometry of the products of destruction and combustion** in the working volume of the TCSEF through a quartz window in it (Figs. 3 and 7) using the FT-801 IRF-spectrometer [15], allowed real-time de-

termination of the smoke formation coefficient of these products and their toxicity according to the formulas V.N. Pavlova [16, 17];

- **metrological certification of the measuring channels** of the BETA analyzer using thermodynamic acoustic emission etalons (TDAE «droplets» of mercury and water sealed in the TED bottom), which have without hysteretic characteristics of phase transitions of the first kind, that allow you to calibrate measuring channels during testing, which was protected by a patent of the RF [18].

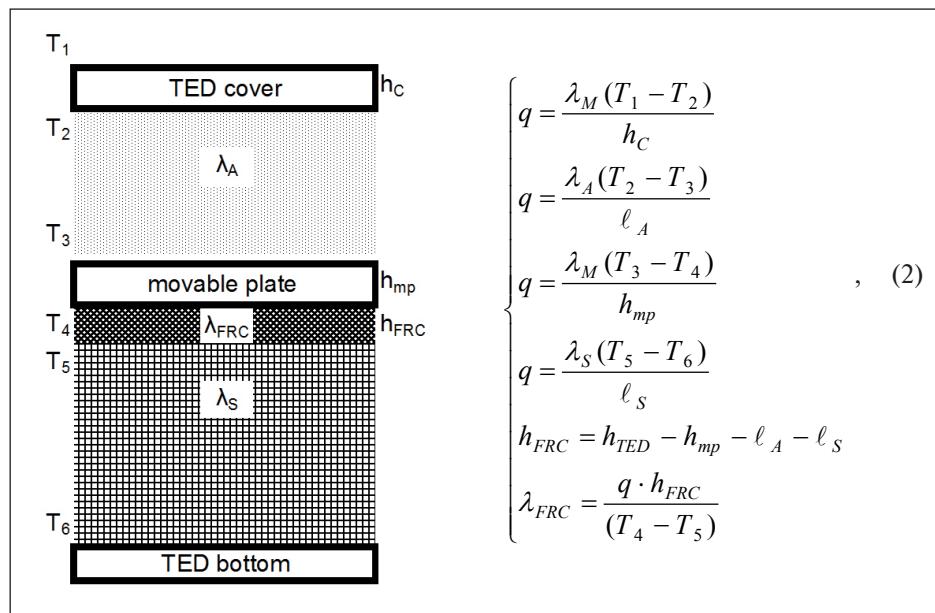
The exact values of the sample parameters obtained in this way allow us to determine its similarity criteria (Fourier number – $Fo = a \cdot t/l^2$ and Biot number – $Bi = \alpha \cdot l/\lambda$) and construct curves of their changes in temperature and time for registration and identification nano-, micro- and microstructural changes in the sample, including with its «aging» [8, 9].

RESULTS AND DISCUSSION

The developed technique for any FRC differs from the BETA-analysis of solid samples [10], both by the preparatory stage [8] and by new algorithms for calculating the FRC parameters.

At the preparatory stage, two identical cylindrical samples are made of steel, wood, rubber and polymer, after which their dimensions and weight are fixed, and one of the cylinder bases is covered with FRC in accordance with the technical specifications on them [8].

After drying (polymerization), samples with FRC are weighed to determine the mass of FRC at each, and the next stage begins – «express analysis of the sample».



where l_o is the linear size of the protected sample (1); h_{FRC} – thickness of the FRC; T_1 is the surface temperature in the TKSE (of the TED cover); T_2 is the temperature in the «section with the air medium» TED, λ_A is the thermal conductivity of the air in the section, T_3 is the temperature of the movable plate of the TED, T_4 is the surface temperature of the FRC, λ_{FRC} is the thermal conductivity of the FRC, T_5 is the surface temperature of the sample, T_6 is the bottom temperature of the TED, h_C is the thickness of the molybdenum cover of the TED, h_{mp} is the thickness of the movable plate of the TED, λ_M is the thermal conductivity of molybdenum, and λ_S is the thermal conductivity of the sample.

Fig. 9. Scheme of measuring a sample with FRC in TED

Express analysis consists of placing of the sample in a TED and «running» the first samples with linear cooling / heating from minus 60°C to plus 200°C in TCSEF in vacuum (0.01 atm), with the determination of the VFLC of the sample protected by the FRC (Fig. 9), as well as the solution of the system of Fourier (2) equations for determining the thermal conductivity – λ_{FRC} and thickness – h_{FRC} of the FRC:

Further, the pressure in the TCSEF rises to atmospheric and at a temperature of plus 200°C, exposure is carried out for 5 minutes (to determine the change in the combustibility group of the sample with FRC by weight loss), after which heating continues to a temperature of plus 835°C. In this case, not only the actual times of fire resistance of the samples are recorded [19], due to the «swelling» of the FRC (change in its thickness and thermal conductivity coefficient), but also are monitored the vector-functions of life-cycle of the samples themselves under the protection of the FRC, the critical values of which make a conclusion about the effectiveness of the FRC for each sample of steel, wood, rubber and polymer [8].

The final stage – «aging of samples» – according to test plans for «second samples» (formed according to the results of «express analysis» of the first samples) with FRC

applied to them, according to adaptive thermo-baro-cycles, with the provision of quasi-isothermal and quasi- of isobaric regimes in the vicinity of the obtained singular points, for refinements the «VFLC aging of FRC» on the samples, before damage to the FRC [8, 19].

CONCLUSION

The proposed approach not only most fully reflects the characteristics and behavior of the FRC during the production and operation at the facilities, but also complements the well-known methods for determining fire-retardant efficiency, which are reflected in the relevant regulatory documents [22–24], creating an «FRC image» for subsequent identification of the stages its «aging», and therefore the determination of the time of its updating at any objects of supervision [8, 25].

Moreover, the development of a «float design» of a thermo-electro-dilatometer crucible for monitoring liquid and viscous materials will make it possible to control characteristics of the FRC during their production, including express control after packaging them in containers (polymer, glass, metals) without opening it, which guarantees their quality when used at objects of protection [26, 27].

REFERENCES

1. Federal database «FIRES» [Electronic resource]. <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny>.
2. GOST 12.1.004 Fire safety. General requirements. Moscow: Ed. standards, 1992. (in Russian)
3. Belozerov V.V., Zaguskin S.L., Prus Yu.V., Samoilov L.K., Topolsky N.G., Trufanov V.N. Classification of objects of increased danger and probabilistic-physical models for assessing their stability and safety. Life Safety. 2001. No. 8. P. 34–41. (In Russian).
4. Kalchenko I.E. An analysis of the objectivity of assessing fire resistance and the effectiveness of fire protection of structures of infrastructure for various purposes. Theoretical and applied aspects of modern science. 2014. No. 3-1, pp. 64–72. (In Russian).
5. Belozerov V.V., Topolsky N.G., Golubov A.I. Multiparameter assessment of the properties and fire and explosion hazard characteristics of liquid substances and materials. Annual International Scientific and Technical Conference Security Systems. – SB 2012: materials of the 21st scientific and technical. conf. Moscow: AGPS of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2012. pp. 30–31. (In Russian).
6. Belozerov V.V., Marchenko A.V., Prus Yu.V. BETA-analysis in the diagnostics of safety and strength of structural materials. Annual international scientific and technical conference Security systems. – SB 2008: Mater. 17th Int. Conf. Moscow: AGPS of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2008. pp. 54–57. (In Russian).
7. Belozerov V.V., Fornicous N.P., Kalchenko I.E., Oleinikov S.N. Philosophical and Philological Aspects of Security. International Journal of Experimental Education. 2016. No. 2 (Part 1), pp. 170–175.
8. Prus Yu.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E. Thermo-electro-acoustic method and system for diagnosing the quality and durability of fire-retardant coatings // Electronics and Electrical Engineering. 2016. No. 1. pp. 146–160. [DOI: 10.7256/2453-8884.2016.1.21075](https://doi.org/10.7256/2453-8884.2016.1.21075). (In Russian).
9. Belozerov V.V. The vector-function of the life cycle of materials. Fundamental and applied aspects of new highly efficient materials: collection of articles. Proceedings of the II All-Russian Scientific Internet Conference with International Participation. Kazan: IP Sinyaev D.N., 2014, pp. 11–13. (In Russian).
10. Belozerov V.V. Automated system for testing materials of the electrical and electronic industries with control of their fire hazard: PhD. thesis. Moscow: ASFS of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2008. (In Russian).
11. Belozerov V.V., Bosy S.I., Mazurin I.M. Adaptive thermal cycling method and system for its implementation. Application for invention No. 2009121080, publ. 10.12.2010, Bull. Number 34. (In Russian).
12. Alekseev M.K., Bizin I.N., Gorchakova L.I. and others. A method of producing ceramic products based on wollastonite. Patent of the Russian Federation for invention No. 2524724, publ. 08/10/2014 Bull. Number 22. (In Russian).
13. Barefoot S.I., Buylo S.I. On the synchronization of thermal analysis with acoustic emission and electrometry. Electronics and Electrical Engineering. 2016. No. 1. P. 1-20. (In Russian).
14. Belozerov Vl.V., Buylo S.I., Prus Yu.V. Combined thermogravimetric and acoustic emission method for determining the stages of thermal degradation of substances and materials and a device for its implementation. RF Patent for invention No. 2324923, publ. 05/20/2008, Bull. Number 14. (In Russian).
15. Ezhevskaya T.B., Bagels A.V. The history and prospects of the use of infrared FT-801 infrared Fourier spectrometers in forensic laboratories under the Ministry of Justice of Russia. Theory and Practice of Forensic Expertise. 2008, No. 1 (9). pp. 219–227. (In Russian).
16. GOST 12.1.044 Fire and explosion hazard of substances and materials. The nomenclature of indicators and methods for their determination. Moscow: Standartinform, 2018. (In Russian).
17. Pavlov V.N. The generalized equation of dependence concentration (dose) – time-effect of the harmful effects of chemicals on the body. Annual international scientific and technical conference Security Systems SS-97. Moscow: MIPB Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 1997, pp.80–81. (In Russian).
18. Belozerov V.V., Bosy S.I., Buylo S.I., Prus Yu.V., Udovichenko Yu.I. The method of thermodynamic acoustic emission standardization and its system implementing. RF Patent for the invention No. 2399910, publ. 09/20/2010, Bull. Number 26. (In Russian).
19. Kalchenko I.E. Simulation methods for assessing the quality of fire retardant coatings. Technosphere Safety Technologies. 2015. No. 1 (59). URL: <http://academygps.ru/ttb>.
20. GOST R 53295-2009 Fire protection means for steel structures. General requirements. Method for the determination of fire-retardant efficiency. Moscow: Standartinform, 2018. (In Russian).
21. GOST R 53311-2009 Fireproof cable coatings. Methods for determining flame retardant efficiency. Moscow: Standartinform, 2018. (In Russian).

22. GOST R 53293-2009 Fire hazard of substances and materials. Materials, substances and means of fire protection. Identification by thermal analysis methods. Moscow: Standartinform, 2018. 23 p. (In Russian).
23. Golubov A.I. The method of thermoanalytical determination of the main characteristics of flammable liquids. Electronics and Electrical Engineering. 2018. No. 1. pp. 1–7. (In Russian).
24. Golubov A.I. Thermoelectroacoustic method for the analysis of liquid media and fire retardant coatings. Student Scientific Forum—2017: Materials of the IX International Student Scientific Conference. URL: <http://scienceforum.ru/2017/article/2017030353>. (In Russian).
25. Belozerov V.V., Lukyanov A.D., Obukhov P.S., Abrosimov D.V., Lubavsky A.Yu., Belozerov V.I.V. The method of rapid analysis of liquid packaged products and installation for its implementation. Patent for invention RU 2696810, publ. 08/06/2019, Bull. 22. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery V. Belozerov, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of Department «Automation of Production Processes», Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, ORCID: 0000-0001-6999-7804, e-mail: safeting@mail.ru

Andrey I. Golubov, Applicant, Department of Automated Systems and Information Technologies, State Fire Service Academy of the Ministry of Emergencies of Russia, Moscow, Russia, e-mail: andreasen@yandex.ru

Ivan E. Kalchenko, Applicant, Department of Automated Systems and Information Technology, State Fire Service Academy of the Ministry of Emergencies of Russia, Moscow, Russia, e-mail: ivanmd@mail.ru

Tuan A. Nguyen, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Fire Safety Institute, Hanoi, Vietnam, ORCID: 0000-0002-0230-9066, e-mail: tuan_moskva@mail.ru

Nirjkolai G. Topolsky, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automated Systems and Information Technologies, State Fire Service Academy of the Ministry of Emergencies of Russia, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, Russia, ORCID: 0000-0002-0921-4764, e-mail: ntopolskii@mail.ru

Author declare the absence of any competing interests.

Received: 18.04.2020.

Revised: 22.05.2020.

Accepted: 04.06.2020.



Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1

В.В. Белозеров¹ , А.И. Голубов², И.Е. Кальченко^{2*}, Т.А. Нгуэн³ , Н.Г. Топольский²

¹ ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

² ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», г. Москва, Россия

³ Институт пожарной безопасности, г. Ханой, Вьетнам

* Контакты: ivanrnd@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Целью исследования являлась оптимизация контроля качества огнезащитных покрытий (ОЗП) при их производстве и использовании. Результаты сравнительного анализа последствий пожаров и их причин с параметром огнестойкости объектов свидетельствуют о том, что количество пожаров и ущерба от них в зданиях I степени огнестойкости практически на порядок меньше, чем в зданиях II степени огнестойкости. Следовательно, повышение огнестойкости строительных материалов и конструкций – путь кардинального сокращения пожаров и потерь от них. **Методы и материалы.** На основе системного анализа существующих технологий противопожарной защиты строительных материалов из дерева, металлов, резины и полимеров были разработаны нанотехнологии для определения стабильности образцов с ОЗП на баро-электро-термо-акустическом (БЭТА) анализаторе и создания их «образов» для дальнейшей диагностики их старения на объекте строительства и эксплуатации. Новизна исследования защищена патентами Российской Федерации. **Результаты и обсуждение.** Полученные результаты заключаются в доработке вычислительных алгоритмов для ОЗП в БЭТА-анализаторе, а также в разработке портативного автоматизированного комплекса, позволяющего определить этап «старения» ОЗП на этих материалах, а следовательно, их долговечность и срок обновления. Такой вывод основан, во-первых, на результатах разработки авторами «поплавковой конструкции» тигля термо-электро-дилатометра для контроля жидких и вязких материалов, что позволяет осуществить контроль характеристик ОЗП при их производстве, во-вторых, осуществить экспресс-контроль после расфасовки их в тару (полимерную, металлическую, стеклянную) без ее вскрытия и, в-третьих, благодаря распознаванию указанных «образов» с помощью термо-электро-измерений ОЗП с использованием специальных зондов, подключенных к портативному автоматизированному комплексу. **Заключение.** Полученные результаты позволяют «вооружить» портативными автоматизированными комплексами не только органы строительного и пожарного надзора, но и производителей ОЗП. Это позволит, по мнению авторов, в корне решить проблемы качества и долговечности ОЗП, но главное – гарантировать устойчивость защищаемых материалов и конструкций из них.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: огнезащитные покрытия, степень огнестойкости, материалы и конструкции, качество огнезащитных покрытий, долговечность огнезащитных покрытий, термо-электро-акустический метод, теплопроводность, температуро-проводность, теплоемкость, старение огнезащитных покрытий.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г. Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 174–184. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184.

ВВЕДЕНИЕ

Последние 15 лет каждый год в России регистрируется [1], в среднем, 200 тысяч пожаров, в ре-

зультате которых погибает около 13 тыс. человек и почти столько же травмируется (табл. 1).

© Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г., 2020

Таблица 1
Статистика пожаров и последствий от них в России

Показатели	Годы									Среднее
	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	
Пожары, тыс.	239,2	229,8	212,6	187,5	168,5	153,5	145,6	132,4	471,1	215,6
Погибли, чел.	19303	18412	16066	13946	12019	10601	9377	7782	8507	12890
Травмированы, чел.	14032	13362	13688	13269	12516	11132	10920	9305	9474	11966
Ущерб от пожаров, млрд руб.	4,2	6,7	8,7	12,2	18,2	14,9	18,8	14,1	13,6	12,9

Среднее значение погибших и травмированных составляет почти 25000 россиян, что для 145 миллионного населения страны более чем в 170 раз превышает требования стандарта, требующего безопасности населения не ниже 0,999999 [2].

При этом среднегодовые процентные показатели причин пожаров и объектов, на которых они произошли, таковы [1]:

- жилые здания – 69,7% пожаров, в т. ч. из-за неисправности и нарушения правил эксплуатации электроприборов, газового и печного отопления – 40,1%, из-за неосторожного обращения с огнем – 33%, поджоги – 10%, прочие – 13,6%;
- транспортные средства – 14%,
- общественные здания – 4,2%,
- производственные объекты – 2,1%,
- склады – 0,9%,
- сельскохозяйственные объекты – 0,4%.

Оставляя за рамками настоящей статьи анализ, «сокращения» числа пожаров и пострадавших от них, из-за изменения методик учета и основываясь на данных «роста» прямых материальных потерь, согласимся со следующими причинами ухудшения пожарной безопасности [3]:

- во-первых, из-за «старения» основных фондов и нарушения технических регламентов, требующих периодического контроля и работ по восстановлению параметров безопасности объектов и оборудования,
- во-вторых, из-за появления новых пожароопасных технологий, техники и оборудования, требующих применения адекватных методов и средств диагностики и подавления их пожаровзрывоопасности,
- в-третьих, широким использованием легковоспламеняющихся и горючих веществ и материалов в быту и на производстве, что повышает риск возникновения аварий, взрывов и пожаров.

В связи с тем, что и в производстве, и в быту не всегда можно обойтись без использования горючих материалов, изделий и продукции из них, полу-

чили применение методы их обработки специальными средствами – красками и покрытиями, включая нанокомпозиционные и полимеризующиеся составы, которые обеспечивают их защиту от эксплуатационных воздействий (влаги, колебаний температур и т.д.) и в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) – молний, пожаров, взрывов.

В данной статье рассматриваются огнезащитные покрытия (ОЗП), которые призваны обеспечить защиту строительных материалов, конструкций и изделий из них для инженерных систем зданий от опасных факторов пожара (ОФП).

Дело в том, что существующие методы и средства диагностики и контроля свойств ОЗП дифференцированы (для стальных конструкций – НПБ 236-97; для древесины – НПБ 251-98; для кабелей – НПБ 238-97 и т.д.) и не используют характеристики защищаемых материалов и изделий для объективной оценки изменений их свойств при воздействии условий ЧС, что порождает несоответствие фактической пожарной опасности объектов и их расчетов в декларациях об их пожарной безопасности [4, 5].

Такое положение образовалось потому, что инструментальных средств контроля эксплуатационной устойчивости объектов, в т.ч. использующих ОЗП, практически нет. В связи с этим **возникла научно-техническая задача** – разработка методов и средств объективного контроля, во-первых, качества ОЗП при их производстве, т.е. в жидкой фазе, а во-вторых, и это главное – диагностики долговечности и пожарной устойчивости изделий и конструкций с ОЗП при их эксплуатации на различных объектах (жилых, административных, торговых и т.д.) [5, 6].

Различные строительные материалы, элементы конструкций и инженерных систем, здания в целом по-разному ведут себя в условиях ЧС, в связи с чем возникла необходимость в специальном показателе, с помощью которого можно было бы сравнивать способность объектов сопротивляться воздействию огня. В качестве такого показателя и **было введено**

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

понятие о степенях огнестойкости объектов (от I до V), которые являются международными пожарно-техническими характеристиками, отличающимися временами, в течение которых материалы, конструкции и здания могут сопротивляться ОФП [7].

Результаты сравнительного анализа последствий пожаров (гибели, травм, материальных потерь, уничтоженных и поврежденных площадей) и их причин с параметром огнестойкости объектов свидетельствуют (рис. 1 и 2) о том, что количество пожаров

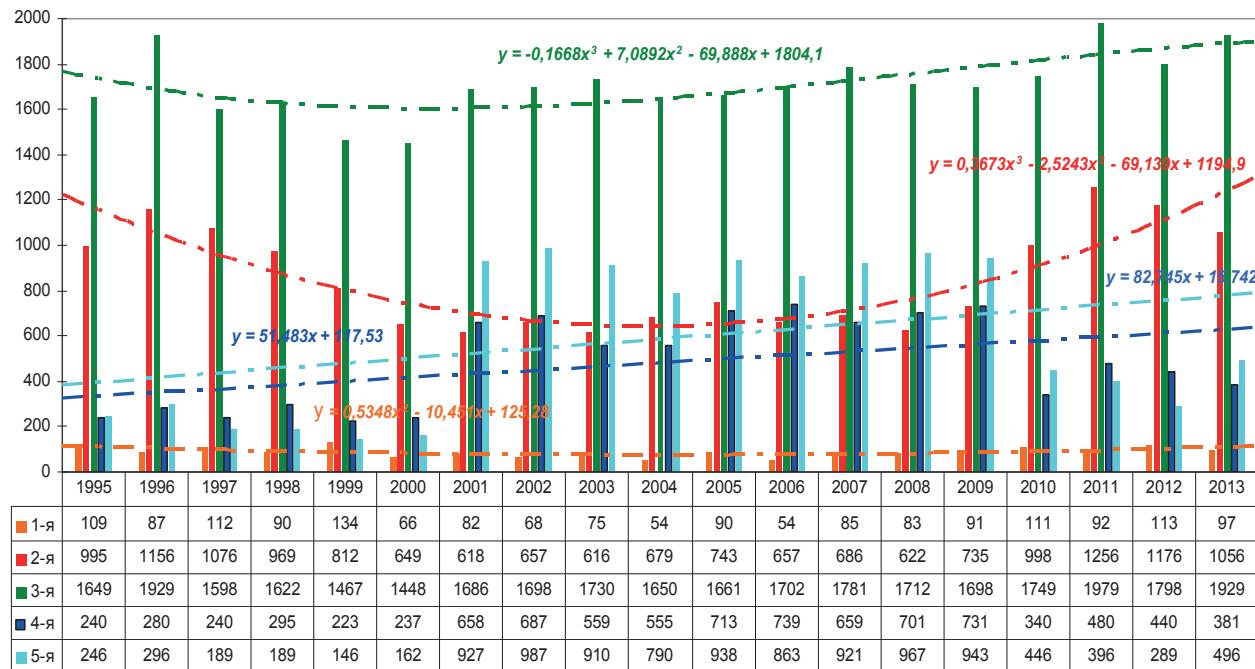


Рис. 1. Гистограммы числа пожаров в зданиях I–V степени огнестойкости

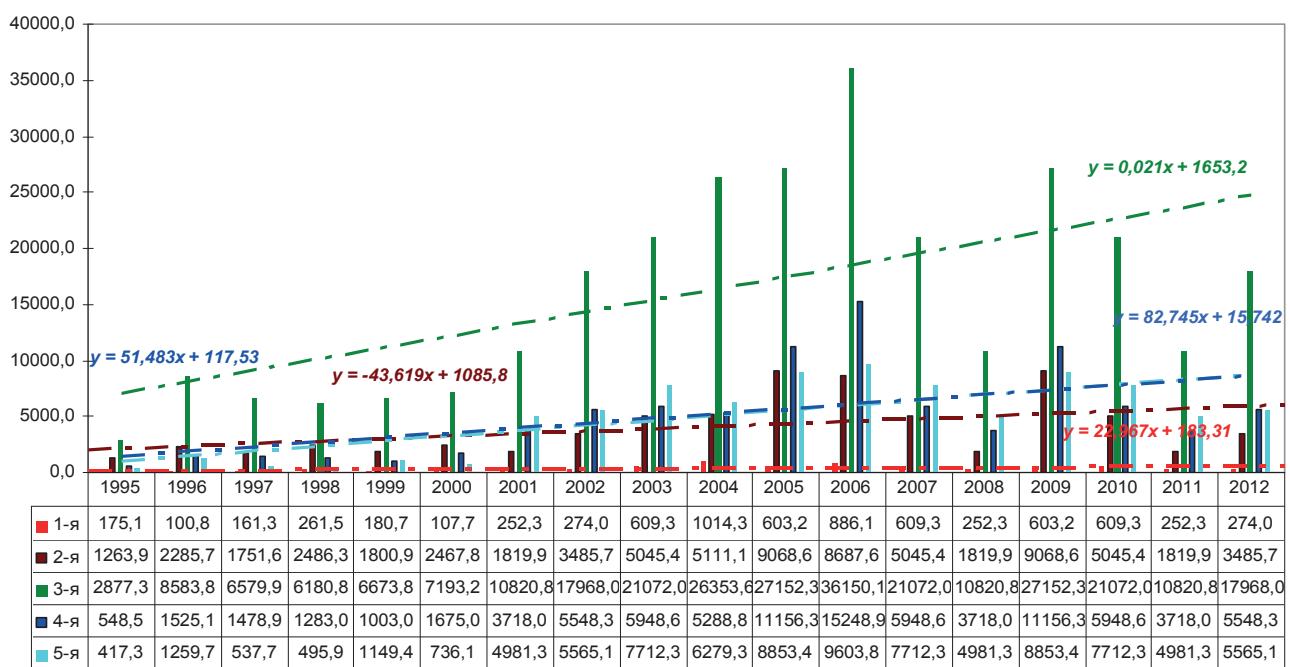


Рис. 2. Гистограммы ущерба от пожаров в зданиях I–V степени огнестойкости

и ущерба от них в зданиях I степени огнестойкости практически на порядок меньше, чем в зданиях II степени огнестойкости. Следовательно, повышение огнестойкости строительных материалов и конструкций – путь кардинального сокращения пожаров и потерь от них [4, 8].

Однако такая латентная форма параметра огнестойкости не позволяет использовать их в уравнениях Семенова, Зельдовича и Франк-Каменецкого, на которых построена теория горения и взрыва, в связи с чем и возникла необходимость разработки новых методов и средств диагностики и контроля устойчивости строительных материалов и конструкций из них, в т.ч. с ОЗП, которые позволили бы осуществить объективный контроль их проектной и эксплуатационной устойчивости, в т.ч. в условиях ЧС [6, 8].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Как показали наши исследования и разработки, наиболее приемлемым для испытаний любых строительных материалов является метод и комплекс баро-электро-термо-акустометрии (БЭТА), который

реализует комбинированное воздействие на образец материала (рис. 3, 4) [6, 8].

БЭТА-анализатор позволяет получить все необходимые характеристики, а также определить существующие и дополнительные показатели их пожарной опасности, т.к. регистрирует и вычисляет 38-ми параметрическую вектор-функцию «жизненного цикла» (ВФЖЦ) материала в условиях эксплуатации – $F[P, T, mi, l_p, \rho_p, \lambda_p, a_p, Cp_p, Cv_p, \beta_p, \gamma_p, \xi_p, h_p, \chi_p, \psi_p, H_p, Fo_p, B_p, E_p, K_p, G_p, v_p, \rho g \cdot l/E_p, \sigma_p, |Z_p|, C_i(R_p), \operatorname{tg}\sigma_p, \varepsilon_p, \mu_p; \mu i \cdot l_i^2/\sigma_i t, L/R_t, \varepsilon_i \cdot \sigma_i/t, C_i/\sigma_i t, Na_p, U_p, G_p, \eta_i]$ [9, 10].

БЭТА-анализатор был создан в рамках проекта № 5823 программы «СТАРТ» [10] и, в отличие от известных установок синхронного термического анализа (СТА), которые применяют линейные режимы изменения температуры и давления, использует метод адаптивного термо-боро-цикла (АТБЦ), работающий ступенчато (рис. 5) [11].

Это дает возможность получить «квазистационарные» участки (температуры и давления) в окрестностях «особых точек» (фазовых переходов и т.д.), и, следовательно, корректно вычислить термодинамические характеристики материала, что обеспечивает достоверность их расчетов, а также позволило

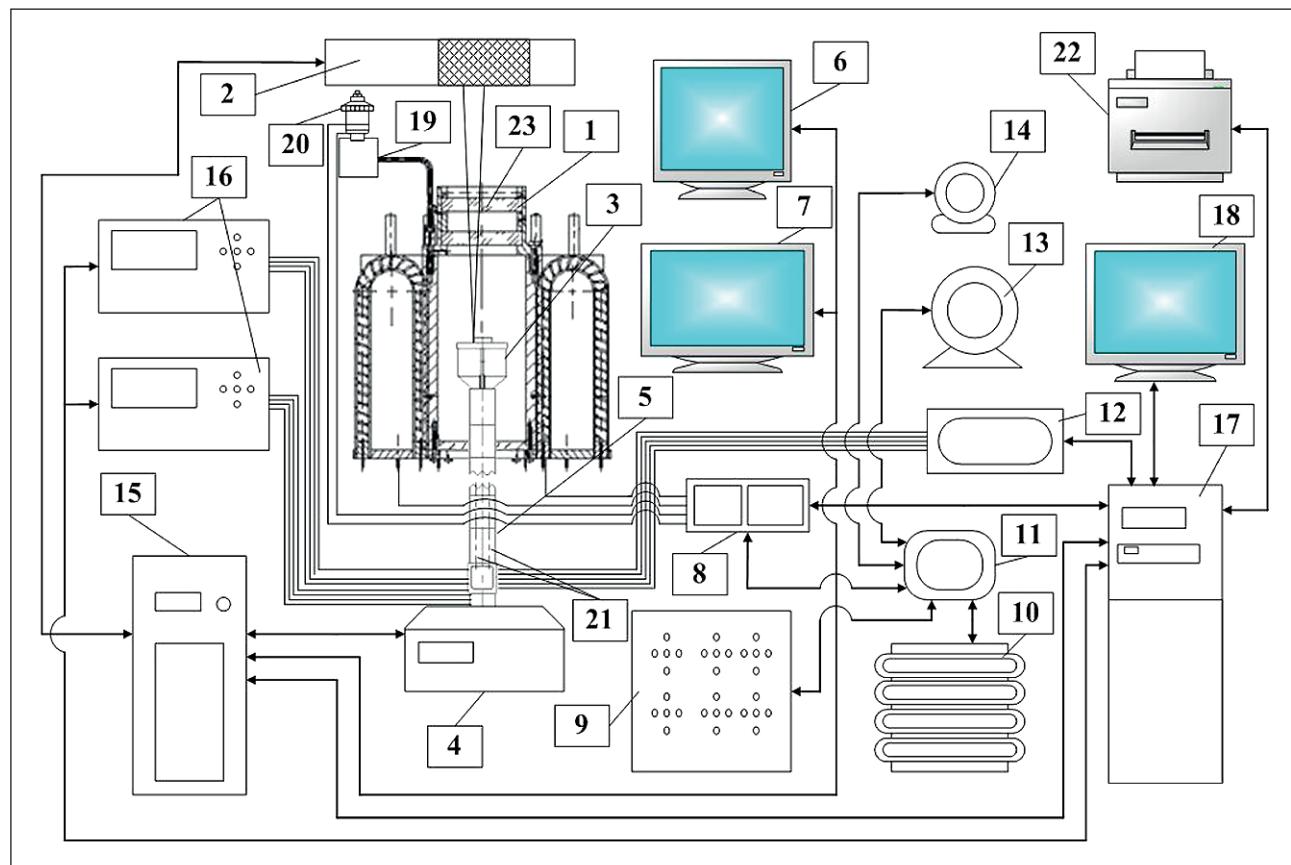


Рис. 3. Блок-схема БЭТА-анализатора



Рис. 4. Внешний вид БЭТА-анализатора:

1 – файл-сервер (ФС); 2 – гравиакустико-электрометрический модуль (ГАЭМ); 3 – предметный стол (ПС); 4 – измеритель иммитанса Е7-20; 5 – модифицированный термокриостат-электропечь (МТКСЭ); 6 – измеритель иммитанса Е7-20; 7 – модули управления МТКСЭ, компрессором и форвакуумным насосом (МКУБ); 8 – ИК фурье спектрометр «ФТ-801»; 9 – 1-й монитор ФС; 10 – цветной принтер; 11 – мастер-модуль М902Е МФК «TREI-5B-05»; 12 – монитор рабочей станции (PC); 13 – 2-й монитор ФС; 14 – рабочая станция (PC); 15 – реверсивный контур тепла/холода (РКТХ); 16 – форвакуумный насос; 17 – компрессор; 18 – рабочее место оператора с клавиатурой и мышью

поставить и решить задачу «ускоренного старения материалов» в условиях эксплуатации [10, 11].

Для реализации метода АТБЦ был разработан термо-криостат-электропечь (рис.6), в котором процессы нагревания и охлаждения были совмещены путем применения никромового электронагревателя в качестве охладителя-элегаза (R-510) в каждой из 8-ми секций, управляемых контроллером (TREI-5B-05), что позволило с высокой точностью обеспечить «квазистационарность температурных участков». Аналогичным образом (компрессором и форвакуумным насосом с электромагнитными клапанами) была обеспечена «квазистационарность участков давления» [10, 11].

Помимо ускоренного старения образца материала при испытаниях такой подход позволил модифицировать и синхронизировать десять разных методов термического анализа и один – метрологический, а именно:

- термобарограмметрию (ТБГ), реализуемую магнитометрическими весами WZA-224CW (фирмы Sartorius) со встроенной поверочной гирей 200 г, управляемыми компьютером, позволяющим провести их поверку с восстановлением массы тары (тигеля термо-электро-дилатометра на термо-акустическом шток-волноводе – ТЭД ТАШВ) в любой момент времени (что особенно важно при термо-баро-циклах) с разрешающей способностью измерения массы образца (до 50 г) – m в 10 микрограмм, а в режиме

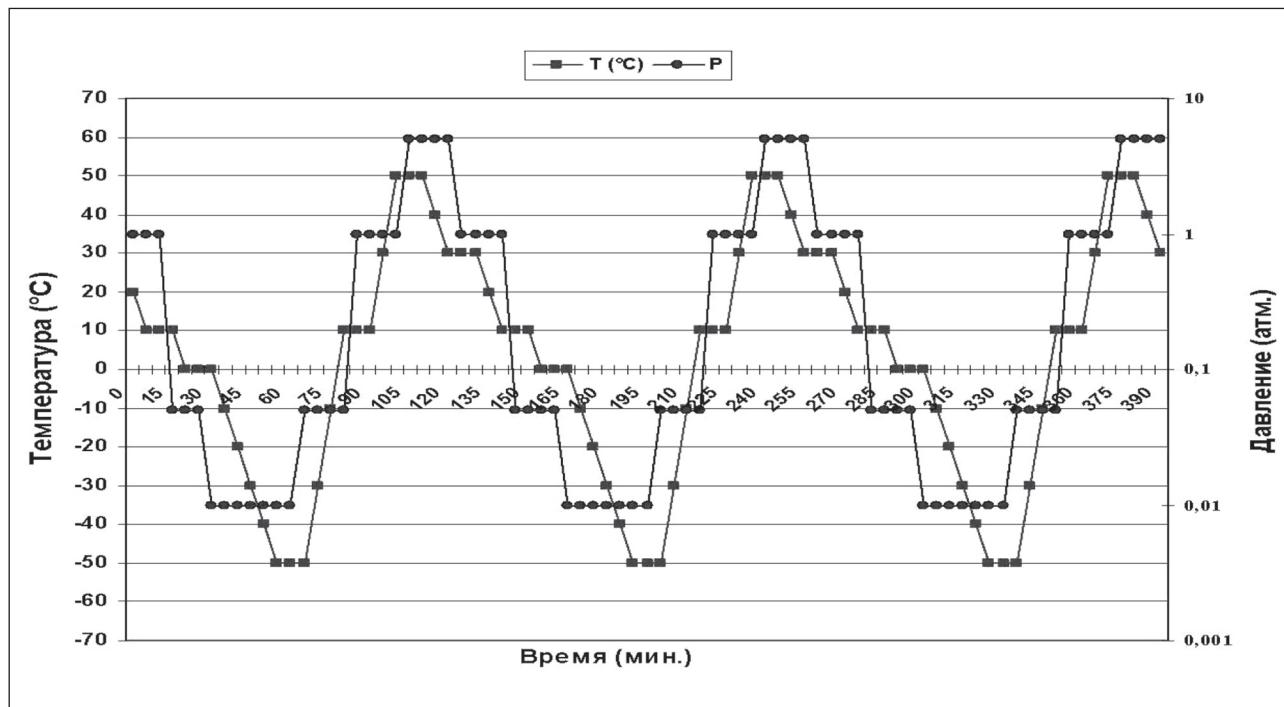


Рис. 5. Адаптивный Термо-Баро-Цикл

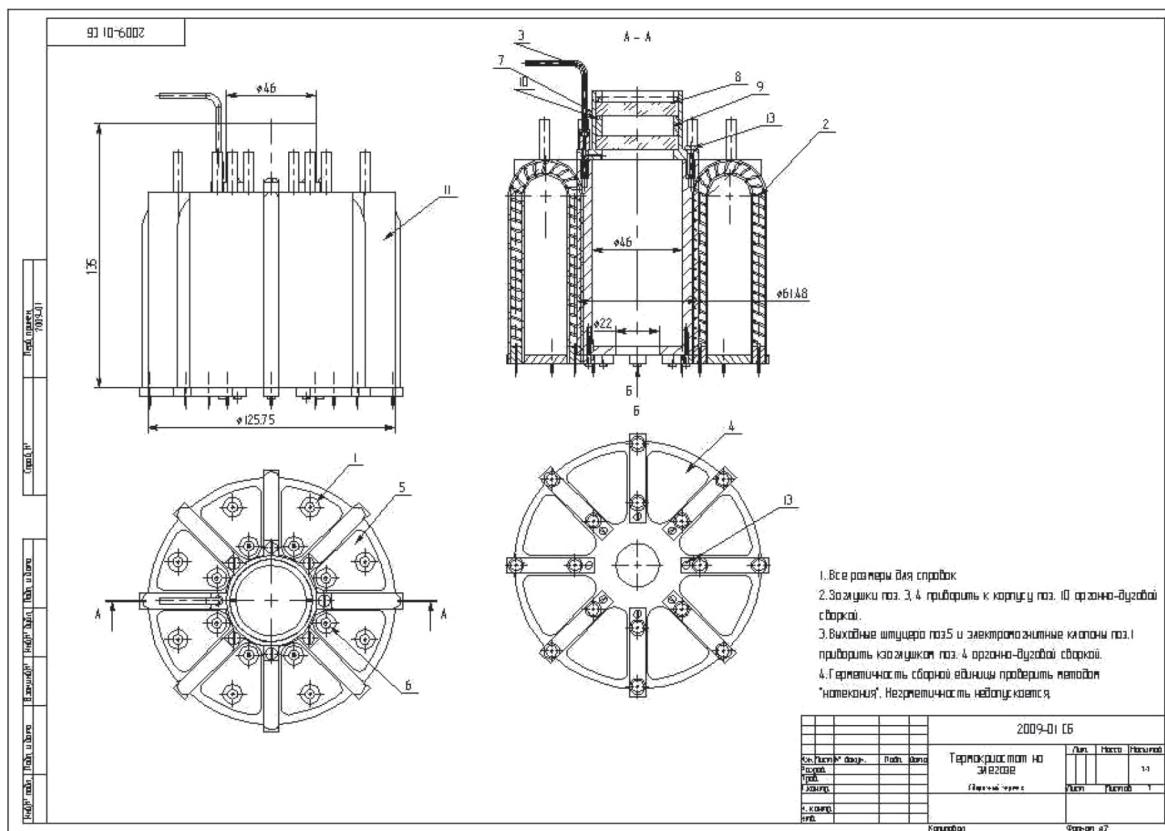


Рис. 6. Сборочный чертеж термо-криостата-электропечи (ТКСЭ)

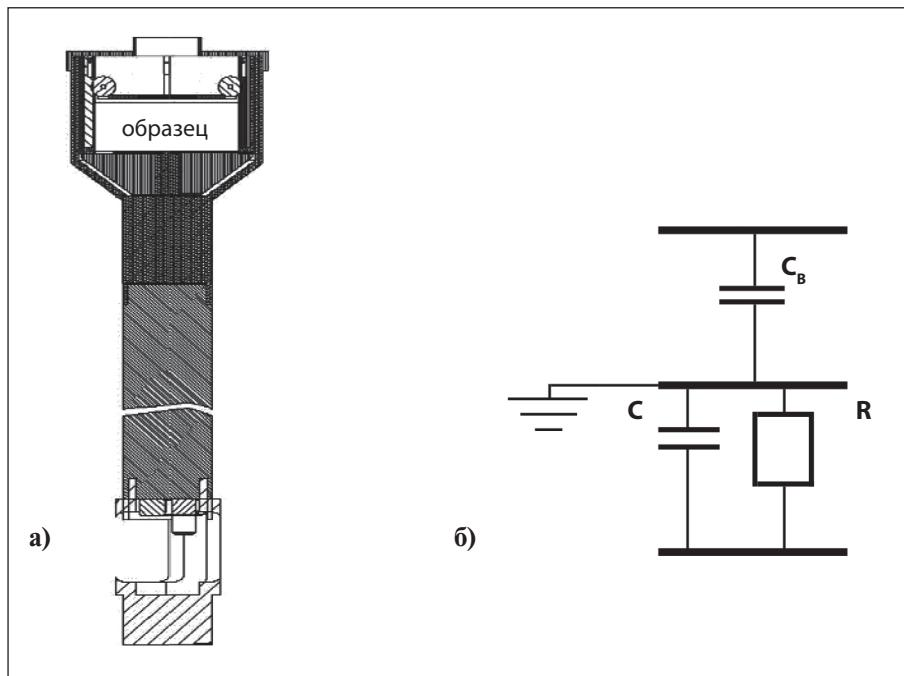


Рис. 7. Тигель термо-электро-дилатометр (ТЭД) и его эквивалентные схемы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ell_A = \frac{\varepsilon_A \cdot \varepsilon_0 \cdot \pi D^2}{4C_A} \\ \ell = h_{TED} - h_{mp} - \ell_A \\ \varepsilon = \frac{4\ell \cdot C}{\varepsilon_0 \cdot \pi D^2} \\ r = \frac{R \cdot \pi D^2}{4\ell} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где l – линейный размер образца в ТЭД; D – диаметр передвижной обкладки ТЭД; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; C – ёмкость между передвижной обкладкой и дном ТЭД; l_B – расстояние от передвижной обкладки до крышки ТЭД; C_B – ёмкость между передвижной обкладкой и крышкой ТЭД; ε_B – диэлектрическая проницаемость воздушной среды между передвижной обкладкой и крышкой ТЭД; R – сопротивление образца; h_{TED} – высота ТЭД (от дна до крышки); h_{po} – толщина передвижной обкладки.

двойной точности – дифференциальную термобарогравиметрию (ДТБГ) с разрешением dm/dT – до 1 микрограмм/град [9,10];

- термобародилатометрию (ТБД) и дифференциальную термобародилатометрию (ДТБД), которая реализуется тиглем (рис. 7 а) термо-электро-дилатометром (ТЭД) и двумя измерителями иммитанса (Е7-20), управляемыми компьютером, который вычисляет линейный размер образца – l и его изменения – dl/dT и dl/dP независимо от типа материала (диэлектрик, проводник, полупроводник), благодаря конструкции ТЭД и наличию его точных параметров

(диаметр, высота от дна до крышки, толщина передвижной обкладки), по унифицированной эквивалентной схеме и общей математической модели (1) [9, 10];

- термо-баро-десиметрию (ТБД), которая является новым методом термического анализа, т.к. вычисляет плотность образца – ρ и его изменения – $d\rho/dT$ и $d\rho/dP$ (по данным изменения массы и объема образца) благодаря синхронизации термогравиметрии и термодилатометрии (ТГ, ДТГ, ТД и ДТД), несопрягаемые до настоящего времени ни в одной установке термического анализа [10];

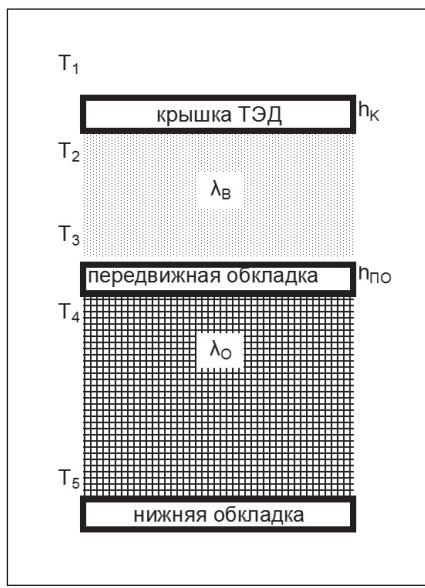


Рис. 8. Схема измерения теплового потока и теплопроводности образца в ТЭД:

T_1 – температура поверхности крышки ТЭД (среды в ТКСЭ);
 T_2 – температура в «секции с воздушной средой» ТЭД;
 λ_B – теплопроводность воздушной среды в секции;
 T_3 – температура передвижной обкладки ТЭД;
 T_4 – температура поверхности образца;
 λ_O – теплопроводность образца;
 T_5 – температура дна ТЭД;
 h_K – толщина молибденовой крышки ТЭД;
 h_{PO} – толщина передвижной обкладки ТЭД;
 λ_M – теплопроводность молибдена

• **дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК) и метод калиброванного теплового потока** (практически по ГОСТ 25380-2014), реализуемые в том же ТЭД с помощью «эталонной секции с воздушной средой» (рис. 8), позволяющие помимо теплопроводности – λ , температуропроводности – α и теплоемкости образца – C (при постоянной температуре и при постоянном давлении) определить все калорические и термические коэффициенты: $\xi = dQ_T/dV$, $h = dQ_T/dP$, $\chi = dQ_p/dV$, $\psi = dQ_V/dP$, $\beta = -(\partial V/\partial P)/V$, $\gamma = (\partial P/\partial T)/P$, благодаря адаптивным термо-баро-циклам (рис. 5) и конструкции ТЭД, создающим калиброванные тепловые потоки в образец (Q и q), т.к. рассеяние тепла циркониевой керамикой стенок ТЭД (1,3 Вт/м · К) на два порядка ниже (1%), чем молибдена (118–138 Вт/(м · К) в рабочем интервале температур (можно снизить рассеяние тепла и погрешность до 0,1%, если ТЭД изготовить из наноструктурированной или волластонитовой керамики [12], имеющих теплопроводность 0,035–0,5 Вт/м · К);

• **дифференциально-баротермический анализ (ДБТА)** – реализуемый в том же ТЭД «эталонной секцией воздушной среды» (в качестве эталона – вакуум или воздух), в результате которого корректно определяется энталпия из уравнения теплового баланса: $\Delta m dH/dt + \lambda(T_0 - T_m) = mC_p \Delta T$ [5];

• **электрометрию**, в т.ч. **диэлектрический анализ (ДЭА)** и **электромагнитный анализ (ЭМА)**, реализуемые ТЭД и измерителями имmittанса (E7-20), управляемыми компьютером, который вычисляет функции диэлектрической (ϵ) и магнитной проницаемости образца (μ), измеряя емкость, комплексное сопротивление и находя экстремумы тангенса угла потерь в диапазоне 25–10⁶ Гц, после чего, решая

уравнения импеданса, представляет их в «3-х мерной комбинации» координат (T, P, ω), вычисляя в точках экстремумов критерии гомохронности ($Ho_3 = \epsilon_P/t$, $Ho_2 = \mu^2/\rho t$ и $Ho_5 = C/Gt$) [13];

• **динамический и термический механический анализ (DMA и ТМА)** – реализуемые с использованием данных ТБД и ДБТА и связи β с модулем объемной упругости ($K = 1/\beta$), по которым вычисляются остальные модули упругости $E = P \cdot l/\Delta l$, $G = 3E/(9 - \beta \cdot E)$, $v = (E - 2G)/2G$, $\mu\mu = G$, $\lambda\lambda = (1 - 2\beta \cdot \mu)/3\beta$, а также определяется второй критерий подобия упругих деформаций, равный $\rho gl/E$, и тангенс угла механических потерь [6, 10];

• **акустико-эмиссионный анализ (АЭ)**, реализуемый 2-мя датчиками АЭ, установленными на 2-х термо-акустических шток-волноводах, расположенных в керамической «ножке» ТЭД, сегменты которых образуют «дно» в ТЭД, контактирующее с образцом, которые подключены в модуль ALine-32 PCI8 (фирмы «Интерюникс»), определяющий по двум независимым каналам интенсивность потока (количества в единицу времени) актов АЭ – dNa/dt , их общее количество – Na , амплитуды – U , а также спектральный состав излучения – $G(f)$, что позволяет исследовать кинетику изменений в образце и диагностировать самые ранние стадии происходящих процессов, а также осуществлять калибровку измерительных трактов АЭ, переключая один из датчиков в режим излучения от эталонного генератора [5, 14];

• **ИК Фурье-спектрометрию продуктов деструкции и горения** в рабочем объеме ТКСЭ через кварцевое окно в нем (рис.3 и 7) с помощью ИКФ-спектрометра ФТ-801 [15] позволило реализовать в реальном масштабе времени определение коэф-

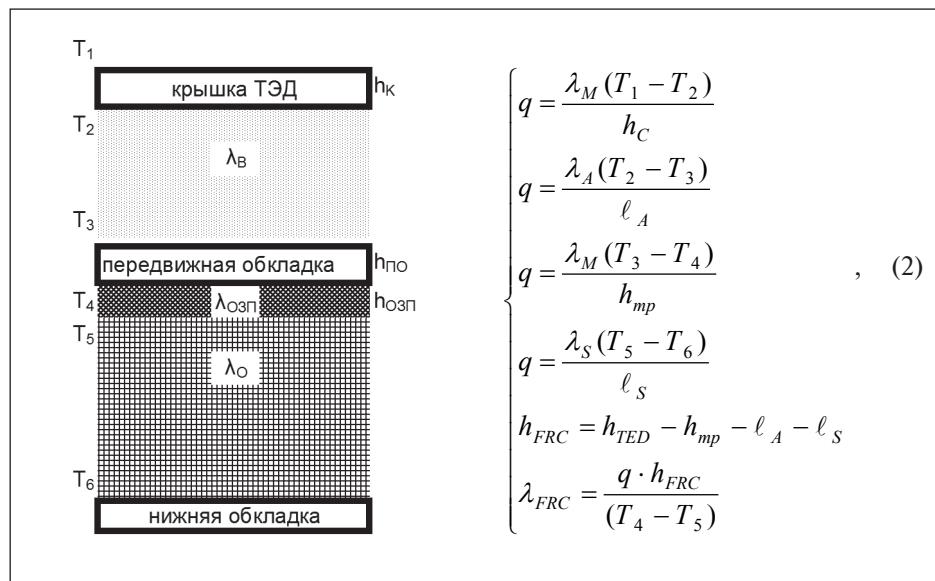


Рис. 9. Схема измерения образца с ОЗП в ТЭД:

l_o – линейный размер защищаемого образца (1); h_{OZP} – толщина ОЗП; T_1 – температура в ТКСЭ (поверхности крышки ТЭД); T_2 – температура в «секции с воздушной средой»; λ_B – теплопроводность воздушной среды в секции (1); T_3 – температура передвижной обкладки ТЭД; T_4 – температура поверхности ОЗП; λ_{OZP} – теплопроводность ОЗП; T_5 – температура поверхности образца; T_6 – температура дна ТЭД; h_K – толщина молибденовой крышки ТЭД; h_{PO} – толщина передвижной обкладки ТЭД; λ_M – теплопроводность молибдена; λ_O – коэффициент теплопроводности образца

фициента дымообразования указанных продуктов и их токсичности по формулам В.Н. Павлова [16, 17];

- **метрологическую аттестацию измерительных**

каналов БЭТА-анализатора с помощью встроенных в ТЭД термодинамических акусто-эмиссионных эталонов (ТДАЭ-запаянные в дно ТЭД «капельки» ртути и воды), которые, имея безгистерезисные характеристики фазовых переходов I рода, позволяют калибровать измерительные каналы в ходе испытаний, что было защищено патентом РФ [18].

Полученные таким образом точные значения параметров образца позволяют определить его критерии подобия (число Фурье – $Fo = a \cdot t / l^2$ и число Био – $Bi = a \cdot l / \lambda$) и построить кривые их изменения от температуры и времени на предмет регистрации и идентификацииnano-, микро- и макроструктурных изменений в образце, в т.ч. при его «старении» [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная методика для любых ОЗП отличается от методики БЭТА-анализа образцов твердого тела [10] как подготовительным этапом [8], так и новыми алгоритмами расчета параметров ОЗП.

На подготовительном этапе изготавливаются по два одинаковых цилиндрических образца из стали, дерева, резины и полимера, после чего фик-

сируются их размеры и вес, и одно из оснований цилиндров покрывается ОЗП в соответствии с ТУ на них [8].

После высыхания (полимеризации) производится взвешивание образцов с ОЗП для определения массы ОЗП на каждом, и начинается следующий этап – «экспресс-анализ образца», который представляет собой размещение их в ТЭД и «прогон» первых образцов при линейном охлаждении/нагреве от минус 60°C до плюс 200°C в ТКСЭ в вакууме (0,01 атм) с определением ВФЖЦ образца, защищенного ОЗП (рис. 9), а решением системы уравнений Фурье (2) с учетом результатов термодилатометрии (1) определяются функции теплопроводности – λ_{OZP} и толщины – h_{OZP} ОЗП.

Далее давление в ТКСЭ поднимается до атмосферного, и при температуре плюс 200°C осуществляется выдержка в течение 5 минут (для определения изменения группы горючести образца с ОЗП по убыли массы), после чего нагревание продолжается до температуры плюс 835°C. При этом регистрируются и оцениваются не только фактические времена огнестойкости образцов [19] за счет «вспучивания» ОЗП (изменение его толщины и коэффициента теплопроводности), но и контролируются ВФЖЦ самих образцов под защитой ОЗП, по критическим значениям которых делается вывод об эффектив-

ности ОЗП для каждого образца из стали, дерева, резины и полимера [8].

Заключительный этап – «старение образцов» – по планам испытаний для «вторых образцов» (сформированных по результатам «экспресс-анализа» первых образцов) с нанесенными на них ОЗП, по адаптивным термо-боро-циклам, с обеспечением квази-изотермических и квази-изобарических режимов в окрестностях полученных особых точек, для уточнения «ВФЖЦ старения ОЗП» на образцах, до критического повреждения ОЗП [8, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход не только наиболее полно отражает характеристики и поведение ОЗП в процессе производства и эксплуатации на объектах, но и до-

полняет широко известные методы определения огнезащитной эффективности, которые отражены в соответствующих нормативных документах [20, 21] и исследованиях, в т.ч. методами термического [22, 23] и термо-электроакустического анализа [24], создавая «образ ОЗП» для последующей идентификации стадий его «старения», а следовательно, и для определения фактического времени его обновления на любых объектах надзора [8].

Более того, разработка «поплавковой конструкции» тигля термо-электро-дилатометра для контроля жидких и вязких материалов позволит осуществить контроль характеристик ОЗП при их производстве [24], включая экспресс-контроль после расфасовки их в тару (полимерную, металлическую, стеклянную) без ее вскрытия, что гарантирует их качество при применении на объектах защиты [25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный банк данных «ПОЖАРЫ» [Электронный ресурс]. – <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny>.
2. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность. Общие требования – М.: Изд. стандартов, 1992. – 77с.
3. Белозеров В.В., Загускин С.Л., Прис Ю.В., Самойлов Л.К., Топольский Н.Г., Труфанов В.Н. Классификация объектов повышенной опасности и вероятностно-физические модели оценки их устойчивости и безопасности // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 8. – С. 34–41.
4. Кальченко И. Е. Анализ объективности оценки огнестойкости и эффективности огнезащиты конструкций объектов инфраструктуры различного назначения // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 3-1. – С. 64–72.
5. Белозеров В.В., Топольский Н.Г., Голубов А.И. Многопараметрическая оценка свойств и пожаровзрывоопасных характеристик жидких веществ и материалов // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности. – СБ-2012: мат-лы 21-й науч.-тех. конф.– М: АГПС МЧС РФ, 2012. – С. 30–31.
6. Белозеров В.В., Марченко А.В., Прис Ю.В. БЭТА-анализ в диагностике безопасности и прочности конструкционных материалов // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности. – СБ-2008: мат-лы 17-й междунар. конф. – М: АГПС МЧС РФ, 2008. – С. 54–57.
7. Белозеров В.В., Блудчий Н.П., Кальченко И.Е., Олейников С.Н. Философско-филологические аспекты безопасности // Международный журнал экспериментального образования – 2016. – № 2 (ч.1). – С. 170–175.
8. Прис Ю.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е. Термо-электро-акустический метод и система диагностики качества и долговечности огнезащитных покрытий // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С. 146–160. – DOI: [10.7256/2453-8884.2016.1.21075](https://doi.org/10.7256/2453-8884.2016.1.21075).
9. Белозеров В.В. Вектор-функция жизненного цикла материалов // «Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоеффективных материалов»: сб. мат-лов II Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием. – Казань: ИП Синяв Д.Н., 2014. – С. 11–13.
10. Белозеров В.В. Автоматизированная система испытаний материалов электротехнической и радиоэлектронной промышленности с контролем их пожарной опасности: дис... канд. тех. наук: – М.: АГПС МЧС РФ, 2008. – 153 с.
11. Белозеров В.В., Босый С.И., Мазурин И.М. Способ адаптивного термоциклирования и система его реализации. – Заявка на изобретение № 2009121080, опубл. 10.12.2010, бюл. № 34.
12. Алексеев М.К., Бизин И.Н., Горчакова Л.И. и др. Способ получения керамических изделий на основе волластонита. – Патент РФ на изобретение № 2524724, опубл. 10.08.2014, бюл. № 22.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

13. Босый С.И., Буйло С.И. О синхронизации термического анализа с акустической эмиссией и электрометрией // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С. 1–20.
14. Белозеров Вл.В., Буйло С.И., Прус Ю.В. Совмещенный термогравиметрический и акусто-эмиссионный способ определения стадий термодеструкции веществ и материалов и устройство для его осуществления. – Патент РФ на изобретение № 2324923. – Опубл. 20.05.2008, бул. № 14.
15. Ежевская Т.Б., Бубликов А.В. История и перспективы применения инфракрасных фурье-спектрометров «инфралиум» ФТ-801 в лабораториях судебных экспертиз при Министерстве России // Теория и практика судебной экспертизы. – 2008. – № 1 (9). – С. 219–227.
16. ГОСТ 12.1.044 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 195 с.
17. Павлов В.Н. Обобщенное уравнение зависимости концентрация (доза) -время-эффект вредного действия химических веществ на организм // Ежегодная международная научно-техническая конференция «Системы безопасности-97». – М.: МИПБ МВД РФ, 1997. – С. 80–81.
18. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Прус Ю.В., Удовиченко Ю.И. Способ термодинамического акусто-эмиссионного эталонирования и система его реализующая. – Патент РФ на изобретение № 2399910, опубл. 20.09.2010, бул. № 26.
19. Кальченко И.Е. Имитационные методы оценки качества огнезащитных покрытий // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 1 (59). – С. 5. – URL: <http://academygps.ru/ttb>.
20. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. – М.: Стандартинформ, 2018. – 9 с.
21. ГОСТ Р 53311-2009. Покрытия кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности. – М.: Стандартинформ, 2018. – 9 с.
22. ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. – М.: Стандартинформ, 2018. – 23 с.
23. Голубов А.И. Метод термоаналитического определения основных характеристик горючих жидкостей // Электроника и электротехника. – 2018. – № 1. – С. 1–7.
24. Голубов А.И. Термоэлектроакустический метод анализа жидких сред и огнезащитных покрытий // Студенческий научный форум. – 2017: Материалы IX Международной студенческой научной конференции. – URL: <http://scienceforum.ru/2017/article/2017030353>.
25. Способ экспресс-анализа жидких фасованных продуктов и установка для его осуществления / В.В. Белозеров, А.Д. Лукьянов, П.С. Обухов, Д.В. Абросимов, А.Ю. Любавский, Вл.В. Белозеров. – Патент на изобретение RU 2696810, опубл. 06.08.2019, бул. 22.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белозеров Валерий Владимирович, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: 0000-0001-6999-7804, e-mail: safeting@mail.ru

Голубов Андрей Иванович, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: нет, e-mail: andreasen@yandex.ru

Кальченко Иван Евгеньевич, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: нет, e-mail: ivanmd@mail.ru

Нгуэн Тuan Anь, к.т.н., доцент, Институт пожарной безопасности, г. Ханой, Вьетнам, ORCID: 0000-0002-0230-9066, e-mail: tuan_moskva@mail.ru

Топольский Николай Григорьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, академик РАН, г. Москва, Россия, ORCID: 0000-0002-0921-4764, e-mail: ntopolskii@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 18.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 22.05.2020.

Статья принята к публикации: 04.06.2020.

PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

Compliance requirements of publication ethics in the preparation and publication of the journal Science Editor and Publisher apply to all members of the publishing process, i.e., authors, editors, reviewers, and the publisher of the journal. The editorial board monitors compliance with the ethics requirements based on the manuals prepared by international specialized organizations, associations and publishers, as well as the Association of Science Editors and Publishers. The main standards relied on by the journal «Nanotechnologies in construction» are those developed by the Committee on Publication Ethics ([Committee on Publication Ethics](#)) in the United Kingdom, by the [publisher Elsevier](#) (Netherlands), and other non-Russian editorial associations and information systems, as well as the [declaration of «Ethical Principles of Scientific Publications»](#), adopted by the Association of Science Editors and Publishers (Russia).

The responsibility of the authors of material for the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The author submits materials for review, which have not been previously published. If the article is based on previously published material which are not academic articles or based on materials presented on the Internet, the author should notify the editorial staff of the journal.
2. The author does not submit the same article to different journals for review.
3. All co-authors consent to the submission of their articles to the journal.
4. The author should inform the editorial staff about a potential conflict of interest. In the case of the absence of any competing interests the author should claim that by writing «Author declare the absence of any competing interests» in the paper.
5. The author takes the necessary steps to ensure the correctness of citations in the submitted article.
6. The list of authors included only individuals who have made significant contributions to the research.
7. The author correctly cites his or her previous work as to avoid self-plagiarism in the manuscript and the artificial increase of volume of publications (salami-slicing).
8. The author, who is acting as the contact with journal, informs all other co-authors of all changes and suggestions from the editorial staff, and does not make decisions regarding the article alone without the written consent of all co-authors.
9. The author properly corresponds with the reviewer through contact with the editor and responds to comments and observations if they arise.
10. If necessary, the authors either adjust the data presented in the article, or refute them.

Responsibility of the editors of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The editors are personally and independently responsible for the content of the materials published and recognize that responsibility. The reliability of the work in question and its scientific significance should always be the basis in the decision to publish.
2. The editors of the journal can check the materials with anti-plagiarism system «Antiplagiat» detecting borrowed fragments to provide copyright protection.
3. The editors make fair and objective decisions, regardless of any commercial considerations and provide a fair and efficient process for the independent review.
4. The editors evaluate manuscripts' intellectual content without regard to race, gender, sexual orientation, religion, origin, nationality, and/or the political preferences of the authors.
5. The editors do not work with articles for which they have a conflict of interest.
6. The editors resolve conflict situations arising during the editorial process, as well as use all available means to resolve these situations.
7. The editors of the journal publish information concerning corrections, rebuttals, and review articles in case the need arises.
8. The editors of the journal do not publish the final version of the article without the consent of the authors.

The responsibility of the reviewers of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The reviewer evaluates his or her own availability before the examination of the manuscript and accepts materials for review only if the reviewer is able to allow for sufficient time as to ensure the quality his or her work.
 2. The reviewer must use the form created by the editors and delivered with paper. The reviewer may give extended review.
 3. The reviewer notifies the editorial staff of any conflict of interest (if one exists) before the start of the review of the paper.
- In the case of the absence of any competing interests the reviewer should claim that by writing «The reviewer declares the absence of any competing interests» in the review.
4. The reviewer does not send information about the article and or any of the data contained within the article to any third party.
 5. The reviewer does not use the information obtained from the article for any personal and or commercial purposes.
 6. The reviewer does not make conclusions about the quality of the article on the basis of subjective data, e.g. the personal relationship to the author, gender, age, religion, etc.
 7. The reviewer uses only proper and appropriate language and explanations in respect to the articles, avoiding any personal remarks.

The responsibility of the publisher of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The publisher not only supports scientific communication and invests in the process, but is also responsible for complying with all current guidelines and standards for publishing scientific work.
2. The publisher does not affect the editorial policy of the journal.
3. The publisher provides legal support to the journal if necessary.
4. The publisher provides for the timely release of future issues of the journal.
5. The publisher publishes changes, explanations, and recalls articles that have been identified to contain scientific misconduct and or critical errors.

The responsibility of the editor-in-chief of the journal «Nanotechnologies in construction»

1. The editor-in-chief is responsible for making a decision which of submitted papers are to be published in the journal. This decision always must be based on the examination of paper reliability and its importance for scientists and readers. The editor-in-chief may be guided by methodical recommendation elaborated by the editorial board of the journal. He also may take into account legal requirements, such as exclusion of libel, infringement of copyright and plagiarism. When making decision on the publication, the editor-in-chief may consult with the members of editorial board, reviewers.
2. The editor-in-chief evaluates submitted papers by the intellectual content, regardless of the race, sex, sexual preference, religion, ethnic origins, citizenship and political views of the author.
3. The editor-in-chief, editorial staff, members of the editorial board must not disclose information on the submitted manuscript to the third person except for the author, reviewers, potential reviewers, and the publisher.
4. The information contained in the submitted paper cannot be used in the paper of the editor-in-chief, members of the editorial board without author's written permission. Confidential information or ideas obtained during review must be kept in secret and must not be used for self-profit.
5. The editor-in-chief should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, co-operation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.
6. The editor-in-chief should ask all authors to present information on the certain competitive interests and publish corrections if the conflict of the interests has been revealed after the publication. If necessary another appropriate action such as publication of disproof or expression of a concern can be performed.
7. The editor-in-chief should take reasoned and prompt measures if he gets complaints of ethnic character in respect to the submitted manuscript or issued paper, contacting with the editors and publisher.

Complaints and appeals handling

In the case of incoming complaints and appeals a commission is formed. The commission can consist of the publisher, the editor-in-chief, deputy editor-in-chief, members of editorial council, authors and specialists which are competent in the considering subjects.

An investigation is held and the results of it are reported to all interested parties. According to laws, if it is necessary, the materials are delivered to competent state bodies.

Policy of disclosure and conflicts of interest /competing interests

Unpublished data from manuscripts submitted for consideration can not be used for personal research without the expressed written consent of the author.

Information or ideas obtained through peer review and related actives, which potentially can be beneficial to any party other than the author, must be kept confidential and not be used for personal gain.

The editors and reviewers should not participate in the examination of manuscripts in the event of a conflict of interest that is a result of any competitive, cooperative, and or other interactions and relationships with any of the authors, companies, and or other organizations involved in the creation or presentation of the works.

The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility

The journal papers (metadata of papers) are available for free access at the journal's website and at the websites of different citation systems (data bases).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution». This kind of license allows other people to distribute, edit, correct and base on the work of the authors, even with commercial purpose, while the authors mention them as co-authors. The license is recommended to distribute widely and use licensed materials.

The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility are aimed at providing «transparent» science and transparency is a guarantee of high-quality research and innovations.

Ethical oversight of the published materials

The publisher and the editor-in-chief should deal with protection of reputation of the published materials by studying and evaluating claimed or potential delinquency (research, publications, reviews and editorial activities) jointly with scientific community.

That means interaction with the author of the manuscript and detailed consideration of the complaints or declared reclamations. To detect such delinquencies as plagiarism, the editor must use proper license software or systems.

If the editor-in-chief obtains proved evidence of delinquency, he must inform the publisher and the members of editorial council about this, as well as immediately notify the author about necessity to correct the paper or paper retraction (in dependence on the situation).

Derivation and plagiarism

During the consideration of an article, the editorial staff of the journal «Nanotechnologies in construction» may conduct a verification of the submitted materials with the help the Anti-plagiarism system. In the case of the discovery of multiple incidents of content matching, the editorial staff acts in accordance with the rules of COPE.

Intellectual property

The editors should carefully deal with the issues concerning intellectual property and interact with the publisher when settling the cases of probable delinquencies and agreements on intellectual property protection.

The editors aside from using plagiarism detecting tools can also:

- support the authors whose copyright was infringed or those who suffered from plagiarism;
- cooperate with the publisher to protect copyright and to pursue infringer (for example, by applying for paper retraction or removing materials from websites).

Discussion of the papers published in the journal. Corrections made after publication

The editors must be open for the researches that oppose the papers published earlier in the journal; to encourage and to be ready to consider valid criticism of the papers published in the journal.

The authors of the criticized works should have an opportunity to respond the criticism. The papers describing only negative results can also be published.

Preprint and postprint policy

During the submission process, the author must confirm that the article has not been published and or accepted for publication in any other journal. When citing articles published in the journal «Nanotechnologies in construction», the publisher requests the authors to provide a link (the full URL of the material) to the official website of the journal.

Articles, which have been previously posted by the author on personal and or public websites that have no relationship to any other publishers, are allowed to be submitted to the journal.

On the procedure in case of abusive practice (infringement)

Publisher, editor-in-chief, each member of editorial staff member of editorial board, author, reviewer or reader must comply journal's Publication Ethics and are obliged to report any known facts concerning committed or potential infringement.

The journal's editors immediately launch investigation on all messages that state abusive practice (infringements). If the information is confirmed, the measures to eliminate claimed abusive practice (infringements) will be taken. According to legislation, all materials, if it is necessary, are referred to proper state bodies.

In response to all author's claims the editors give full and substantiated replies and make great efforts to resolve any conflicts.

ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ ПРАКТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

Требования соблюдения публикационной этики при подготовке и издании журнала «Нанотехнологии в строительстве» касаются всех участников редакционно-издательского процесса – авторов, редакторов, рецензентов и издателя, создающих этот журнал. Редакция журнала следит за выполнением требований этики, опираясь на руководства, подготовленные зарубежными профильными организациями, ассоциациями и издательствами, а также Ассоциацией научных редакторов и издателей. Основными документами, на которые опирается редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве», являются разработки Комитета по публикационной этике ([Committee on Publication Ethics](#)), Великобритания, [издательства Elsevier](#) (Нидерланды) и других зарубежных редакторских ассоциаций и информационных систем, а также [Декларация «Этические принципы научных публикаций»](#), принятая Ассоциацией научных редакторов и издателей (Россия).

Ответственность авторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Автор отправляет на рассмотрение статью, материалы которой ранее не были опубликованы. Если статья основана на ранее опубликованных материалах не статейного характера или материалы представлены в Интернете, следует уведомить об этом редакцию журнала.
2. Автор не отправляет на рассмотрение одну статью в разные журналы.
3. Все соавторы согласны на представление статьи в журнал.
4. Автор уведомляет редакцию о потенциальном конфликте интересов. Об отсутствии конфликта интересов автор указывает в статье – «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».
5. Автор предпринимает необходимые меры, чтобы убедиться в корректности представленных в статье цитирований.
6. В список авторов включаются только лица, внесшие значительный вклад в проведение исследования.
7. Автор корректно цитирует свои предыдущие работы и избегает самоплагиата в рукописи и искусственно увеличения объема публикаций (*salami-slicing*).
8. Контактный автор уведомляет своих соавторов обо всех изменениях и предложениях со стороны редакции журнала и не принимает решений относительно статьи единолично, без письменного согласия всех соавторов.
9. Автор корректно ведет переписку с рецензентом через редактора и отвечает на комментарии и замечания, если они возникают.
10. При необходимости авторы корректируют представленные в статье данные или опровергают их.

Ответственность редакторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Редакторы журнала самолично и независимо несут ответственность за содержание публикуемых материалов и признают эту ответственность. Достоверность рассматриваемой работы и ее научная значимость всегда должны лежать в основе решения о публикации.
2. Редакторы журнала могут проверить полученные материалы в системе [Антиплагиат](#) по обнаружению заимствований, способствуя защите авторского права.
3. Редакторы принимают честные и объективные решения независимо от коммерческих соображений и обеспечивают честный и эффективный процесс независимого рецензирования.
4. Редакторы оценивают интеллектуальное содержание рукописей вне зависимости от расы, пола, сексуальной ориентации, религиозных взглядов, происхождения, гражданства или политических предпочтений Авторов.
5. Редакторы не работают со статьями, в отношении которых у них есть конфликт интересов.
6. Редакторы журнала разрешают конфликтные ситуации, возникающие в процессе работы, и используют для их разрешения все доступные средства.
7. Редакторы журнала публикуют информацию об исправлениях, опровержениях и отзывах статей в случае возникновения такой необходимости.
8. Редакторы журнала не публикуют конечный вариант статьи без его согласования с авторами.

Ответственность рецензентов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Рецензент оценивает свою занятость перед согласием на экспертизу рукописи и соглашается на рецензирование только при наличии достаточного времени на качественную работу.

2. Рецензент использует разработанную редакцией журнала форму, которую он получает вместе со статьей. Рецензент вправе дать более расширенную рецензию.

3. Рецензент предупреждает редакцию о наличии конфликта интересов (если он возник) до начала работы со статьей.

Об отсутствии конфликта интересов рецензент указывает в рецензии – «Рецензент заявляет об отсутствии конфликта интересов».

4. Рецензент не передает сведения о статье и данные, которые в ней содержатся, третьим лицам.

5. Рецензент не использует информацию, полученную из статьи, в личных и коммерческих целях.

6. Рецензент не делает выводов о качестве статьи на основе субъективных данных: личного отношения к автору, его пола, возраста, вероисповедания.

7. Рецензент использует только корректные выражения и объяснения в отношении статьи, не переходит на личности.

Ответственность издателя журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Издатель не только поддерживает научные коммуникации и инвестирует в данный процесс, но также несет ответственность за соблюдение всех современных рекомендаций в публикуемой работе.

2. Издатель не влияет на редакционную политику журнала.

3. Издатель оказывает юридическую поддержку редакции журнала при необходимости.

4. Издатель обеспечивает своевременность выхода очередных выпусков журнала.

5. Издатель публикует правки, пояснения и отзывает статьи, в которых были выявлены нарушения научной этики или критические ошибки.

Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Главный редактор отвечает за принятие решения о том, какие из представленных в редакцию журнала работ следует опубликовать. Это решение всегда должно приниматься на основе проверки достоверности работы и ее важности для исследователей и читателей. Главный редактор может руководствоваться методическими рекомендациями, разработанными редколлегией журнала, и такими юридическими требованиями как недопущение клеветы, нарушения авторского права и плагиата. Также при принятии решения по публикации главный редактор может советоваться с членами редсовета, редколлегии, рецензентами.

2. Главный редактор оценивает представленные работы по их интеллектуальному содержанию, невзирая на расу, пол, сексуальную ориентацию, религию, этническое происхождение, гражданство или политические взгляды автора.

3. Главный редактор, сотрудники редакции, члены редколлегии не должны раскрывать информацию о представленной рукописи кому-либо другому, за исключением автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, а также издателя.

4. Сведения, содержащиеся в представленной статье, не должны использоваться в какой-либо собственной работе главного редактора и членов редсовета и редколлегии без письменного разрешения автора. Конфиденциальная информация или идеи, полученные при рецензировании, должны храниться в секрете и не использоваться для получения личной выгоды.

5. Главному редактору следует отказаться от своего участия в рецензировании в случае, если присутствует конфликт интересов, проистекающий из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, компаний или учреждений, имеющих отношение к статье.

6. Главному редактору следует требовать от всех авторов журнала предоставлять сведения о соответствующих конкурирующих интересах и публиковать исправления, если конфликт интересов был разоблачен после публикации. В случае необходимости, может выполняться другое подходящее случаю действие, такое как публикация опровержения или выражения озабоченности.

7. Главному редактору следует принимать разумно быстрые меры при поступлении жалоб этического характера в отношении представленной рукописи или опубликованной статьи, имея контакт с редакцией, издателем.

Обработка жалоб и апелляций

В случае поступления жалоб и апелляций назначается комиссия, в состав которой могут входить: издатель, главный редактор, заместитель главного редактора, члены редакционной коллегии, авторы и специалисты, компетентные в рассматриваемых вопросах. Проводится расследование, результаты которого доводятся всем заинтересованным лицам. При необходимости и в соответствии с законодательством материалы передаются в соответствующие государственные органы.

Политика раскрытия и конфликты интересов/конкурирующих интересов

Неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, нельзя использовать в личных исследованиях без письменного согласия Автора.

Информация или идеи, полученные в ходе рецензирования и связанные с возможными преимуществами, должны сохраняться конфиденциальными и не использоваться с целью получения личной выгоды.

Редакторы и рецензенты не должны участвовать в рассмотрении рукописей в случае наличия конфликтов интересов вследствие конкурентных, совместных и других взаимодействий и отношений с любым из авторов, компаниями или другими организациями, связанными с представленной работой.

Политики журнала в отношении обмена данными и воспроизведимости

Статьи из журнала (метаданные статей) размещаются в открытом доступе на сайте журнала и на сайтах различных систем цитирования (баз данных). Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»). Эта лицензия позволяет другим распространять, редактировать, поправлять и брать за основу произведение авторов, даже коммерчески, до тех пор, пока они указывают ваше авторство. Лицензия рекомендована для максимального распространения и использования лицензированных материалов.

Политика журнала в отношении обмена данными и воспроизведимости в конечном итоге способствует более «открытой» науке, а открытость научной информации есть гарант исследований и инноваций высокого качества.

Этический надзор за опубликованными материалами

Издатель и главный редактор должны работать над защитой репутации опубликованных материалов путем изучения и оценки заявленных или предполагаемых нарушений (исследований, публикаций, рецензий и редакторской деятельности) совместно с научным сообществом.

Это включает в себя взаимодействие с автором рукописи или тщательное рассмотрение соответствующей жалобы или высказанных претензий. Для выявления таких нарушений, как плагиат, редактор должен пользоваться соответствующими лицензионными системами.

Главный редактор, получивший убедительное свидетельство нарушения, должен сообщить об этом издателю, членам редакколлегии, организуя немедленное уведомление автора о необходимости внесения поправок или отзыва публикации, в зависимости от ситуации.

Замещивания и плагиат

Редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы [Антиплагиат](#). В случае обнаружения многочисленных замещений редакция действует в соответствии с правилами [COPE](#).

Интеллектуальная собственность

Редакторы должны внимательно относиться к вопросам, касающимся интеллектуальной собственности, и взаимодействовать с издателем при урегулировании случаев возможных нарушений законов и соглашений об охране интеллектуальной собственности.

Редакторы, кроме применения инструментов обнаружения плагиата, могут также:

- поддерживать авторов, чье авторское право было нарушено, или тех, кто стал жертвой плагиата;
- быть готовыми к совместной работе с издателем по защите авторских прав и к преследованию нарушителей (например, путем подачи запросов для отзыва статей или удаления материалов с веб-сайтов).

Обсуждение работ, опубликованных в журнале. Исправления после публикаций

Редакторы должны быть открытыми для исследований, которые оспаривают предыдущие работы, опубликованные в журнале; поощрять и с готовностью рассматривать обоснованную критику работ, публикуемых в их журнале.

Авторы критикуемых материалов должны иметь возможность ответить на критику. Работы, сообщающие только об отрицательных результатах, также могут публиковаться.

Политика размещения препринтов и постпринтов

В процессе подачи статьи автору необходимо подтвердить, что статья не была опубликована или не была принята к публикации в другом научном журнале. При ссылке на опубликованную в журнале «Нанотехнологии в строительстве» статью издательство просит размещать ссылку (полный URL материала) на официальный сайт журнала.

К рассмотрению допускаются статьи, размещенные ранее авторами на личных или публичных сайтах, не относящихся к другим издательствам.

О процедурах в случае злоупотреблений (нарушений)

Издатель, главный редактор, каждый сотрудник редакции, член редакционной коллегии, автор, рецензент и читатель обязаны соблюдать этику научных публикаций в журнале действующих законов, правил или положений и обязуются сообщать о любых известных у случаях уже совершенного или потенциального злоупотребления (нарушения).

Редакцией журнала незамедлительно проводится расследование по всем сообщениям о злоупотреблениях (нарушениях) и, если информация подтверждается, принимаются меры по устранению злоупотреблений (нарушений). Если это требуется в соответствии с законодательством, материалы передаются в соответствующие государственные органы.

На все претензии авторов редакция предоставляет развернутые и обоснованные ответы, прилагая все усилия для разрешения конфликтных ситуаций.



AUTHOR GUIDELINES

Admission of articles

The authors submit to the editors:

- electronic manuscript by e-mail: info@nanobuild.ru;
- accompanying letter (the editors send the sample of the letter to the authors on demand).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution»; agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here <http://creativecommons.ru/>.

When submitting articles to the journal, it is presumed that:

- the work has not been previously published in any other journal;
- the article is not under consideration in any other journal;
- all co-authors consent to the publication of the article;
- there is implicit or explicit consent of the organization in which the study was conducted.

Information about the conflict of interest

The article should include any actual or potential conflict of interest. If there is no conflict of interest, you should write that «the author declares no conflict of interest.»

When submitting a manuscript to the journal, authors should ensure that the content of the paper corresponds the topic of the journal; the structure and the format of the paper meet the editorial requirements; all citations are properly formatted and the source of tables and figures are shown (unless otherwise indicated, it is assumed that the tables and figures created by the author).

Basic the sections of the journal:

- construction material science;
- the study of the properties of nanomaterials;
- the results of the specialists' and scientists' researches;
- manufacturing technology for building materials and products;
- international scientific and technical cooperation;
- overview of inventions in the field of nanotechnology;
- development of new materials;
- rational use of natural sources;
- efficient use of recycled resources;
- the application of nanotechnology and nanomaterials;
- system solutions for technological problems;
- in related sectors;
- forums, exhibitions, conferences and events in the area of construction and nanoindustry.

These are the topics of the papers published in the journal: creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; cement and other binders with mineral and organic additives; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; modification of building materials with nanofibers; disperse composite materials with nanocoating; formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering; technologies aimed at studying nanomaterial properties; the systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

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

The structure of the paper

Article type (In English)

Title (In English)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In English) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows

Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In English)

KEYWORDS: (In English)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In English)

FOR CITATION: (In English)

Text of the paper: (In English, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In English)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In English)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Article type (In Russian)

Title (In Russian)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In Russian) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In Russian)

KEYWORDS: (In Russian)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In Russian)

FOR CITATION: (In Russian)

Text of the paper: (In Russian, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In Russian)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Manuscript text

File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in either the .doc or .docx format. If you are using Word 2007, save the file only in the .doc format.

Text layout

- Use the font Times New Roman, font size – 14 pt., and 1.5 line spacing;
- Do not use an underscore in the text (for subtitles – use bold, to highlight text – use italics);
- Non-Russian languages titles (journals, organizations, etc.) should be left in the original, enclosed in quotes.

Abbreviations

All abbreviations should be defined when first used. If the article contains a large number of abbreviations, a list deciphering each of them can be included before the text of the article

Tables and Figures

All tables and figures must be numbered and identified, they should be a reference in the text. The tables should not contain empty columns. Figures should be of good quality, suitable for printing. Figures should be submitted together with the article, with each figure submitted as an individual file.

One way to check the quality of the image, is to increase its size using any image manipulation software. A high quality image is not blurred or distorted when enlarged.

Footnotes

If necessary, use footnotes with continuous numbering (Arabic numerals) throughout the document. Footnotes can be quotes from the works mentioned in the text, for more information.

Citations and bibliography

The journal requires the use of the Vancouver citation style (a reference in the text in square brackets, full bibliographic description of the source in the bibliography in the order mentioned in the text of the article).

References

The list of references includes sources used in the text.

References accepted for publication but not yet published articles must be labeled with the words "in press"; authors should obtain written permission to refer to these documents and evidence that they are accepted for publication. Information from unpublished sources must be marked with the words "unpublished data / documents," the authors must also receive written confirmation of the use of such materials.

References to non-Russian language articles:

Surname Initials, Surname Initials Article title. Name of journal. Year, Volume (Number): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Example: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

References to non-Russian language monographs:

With 1–3 authors:

Surname initials, Surname initials. Book title. Number of reprinting. City: Publisher; The year of publishing.

Indication to the editor or compiler:

Surname initials. Surname initials, Surname initials, editors. Title. Number of reprinting. City: Publisher; Year of publishing.

Example: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Journal title and the title of monographs and collections are written in italics. After the initials a period (.) is used. Between the author's name and initials no comma is used.

Reference to Russian language sources:

Example: Lindorf L.S., Mamikonians L.G. Operation of turbine-generator with direct cooling. Moscow: Energia; 1972. (In Russ.)

References to internet sources:

The name of the material on the site [site]. Name of the site; year [updated: date of update; date of citation]. Available: link to the site.

Note: preferably indicate a link to the material from the site, which is mentioned in the article. A link to your homepage is not informative and does not allow for verification of the information.

Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

1. Authors retain copyright of the work and provide the journal right of first publication of the work.
2. The authors retain the right to enter into certain contractual agreements relating to the non-exclusive distribution in the published version of the work here form (eg, post it to an institutional repository, the publication of the book), with reference to its original publication in this journal.
3. The authors have the right to post their work on the Internet (eg in the institute store or personal website) prior to and during the review process of its data log, as this may lead to a productive discussion and a large number of references to this work.

Privacy Statement

Specified when registering the names and addresses will be used solely for technical purposes of a contact with the Author or reviewers (editors) when preparing the article for publication. Private data will not be shared with other individuals and organizations.



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Прием статей

Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде по e-mail: info@nanobuild.ru;
- сопроводительное письмо (редакция высылает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Представление статьи в журнал подразумевает, что:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие – неявное или явное – организации, в которой исследование было проведено.

Информация о конфликте интересов

В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что содержание статьи соответствует тематике журнала; структура статьи и оформление соответствуют требованиям редакции; все цитирования оформлены корректно, указаны источники для таблиц и рисунков (если не указано иное, предполагается, что таблицы и рисунки созданы автором).

Основные разделы журнала:

- строительное материаловедение;
- исследование свойств наноматериалов;
- результаты исследований ученых и специалистов;
- технологии производства строительных материалов и изделий;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- обзор изобретений в области наноиндустрии
- разработка новых материалов;
- рациональное использование природных ресурсов;
- эффективное использование вторичного сырья;
- применение нанотехнологий и наноматериалов;
- системные решения технологических проблем;
- в смежных отраслях;
- форумы, выставки, конференции, мероприятия строительной отрасли и наноиндустрии.

В журнале публикуются работы по следующим темам: создание новых функциональных материалов; разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем; проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах; цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками; диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем; технологии исследования свойств наноматериалов; модификация строительных материалов нановолокнами; дисперсные композиционные материалы с нанопокрытием; формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением; системы преподавания основ нанотехнологий; технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.). Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

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

Структура статьи

Тип статьи (на английском языке)

Заглавие (на английском языке)

Автор(ы) (на английском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на английском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на английском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на английском языке)

Статья (на английском языке, объем – 3–6 тыс. слов):

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**
- **РЕЗУЛЬТАТЫ**
- **ОБСУЖДЕНИЕ**
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на английском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на английском языке)

Имя, отчество (при наличии), фамилия, ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УДК

Тип статьи (на русском языке)

Заглавие (на русском языке)

Автор(ы) (на русском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке) (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (введение, методы и материалы, результаты, обсуждение, заключение (выводы)), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на русском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на русском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на русском языке)

Статья (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов)

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

- РЕЗУЛЬТАТЫ
- ОБСУЖДЕНИЕ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на русском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на русском языке)

Фамилия, имя, отчество (при наличии), ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Оформление текста рукописи

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .doc или .docx. Если вы работаете с Word 2007, сохраняйте файл только в формате .doc.

Оформление

- используйте шрифт 14 Times New Roman и интервал 1,5 строки;
- не используйте подчеркивание внутри текста (для подзаголовков используйте полужирное начертание, для выделения в тексте – курсив);
- иностранные названия (журналов, организаций и т.д.) следует оставлять в оригинале, заключать в кавычки.

Аббревиатуры

Все аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если аббревиатур много, можно сделать список с расшифровкой каждой из них перед текстом статьи.

Таблицы и рисунки

Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и названы, на них должна быть ссылка в тексте статьи. В таблицах не должно быть пустых граф. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Прикладываются к статье отдельными файлами.

Чтобы проверить качество изображения, можно увеличить его. Хорошее изображение не размывается при увеличении.

Сноски

При необходимости используются сноски со сквозной нумерацией (арабские цифры) по всему документу. В сносках могут быть цитаты из работ, которые упоминаются в тексте, дополнительная информация.

Оформление цитат и списка литературы

В журнале принят Ванкуверский стиль цитирования (ссылка в тексте в квадратных скобках, полное библиографическое описание источника в списке литературы в порядке упоминания в тексте статьи).

Список литературы

В список литературы включаются источники, используемые в тексте статьи. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

Ссылки на статьи из иностранных источников:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи. Название журнала. Год; Том (Номер): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Пример: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

Ссылки на монографии на иностранном языке:

С 1–3 авторами:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название книги. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Указание на редактора или составителя:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О., ³Фамилия И.О., редакторы. Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Пример: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Глава из монографии или сборника:

¹Фамилия И.О. ¹Название. В: ²Фамилия И.О., редактор. ²Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Название журнала и название монографий и сборников выделяется курсивом, после инициалов ставятся точки. Между фамилией автора и инициалами запятая не ставится.

Ссылки на статьи на русском языке

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. – Год. – Том (Номер):00-00. [¹Familia I.O., ²Familia I.O. Перевод названия статьи. Транслит названия журнала/Официальное название на английском языке. Год; Том (Номер):00-00. (In Russ.)]]

Пример: Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – 9 (1): 88–106. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.

[Ivanov L.A., Muminova S.R. Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1. Nanotechnologies in Construction. 2017; 9 (1): 88–106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106. (In Russian)]

Ссылки на монографии на русском языке:

¹Фамилия И.О. Название монографии. – Город: Издательство, год. – 000 с. [¹Familia I.O. Перевод названия монографии. Gorod: Izdatelstvo; god. (In Russ.)]

Пример: Линдорф Л.С., Мамиконянц Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – М.: Энергия, 1972. – 352с.

Ссылки на интернет-ресурсы:

Название сайта [Электронный ресурс] – URL. – (дата обращения).

Примечание: предпочтительно указывать ссылку на материал с сайта, который упоминается в статье. Ссылка на главную страницу не информативна и не дает возможность проверить информацию.

Авторские права

Авторы, публикующие в журнале, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.

2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договорённости, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.

3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и большему количеству ссылок на данную работу.

Приватность

Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных этим журналом, и не будут использованы для каких-либо других целей или представлены другим лицам и организациям.