CA(pt) • CrossRef • DOAJ • EBSCO Publishing • ESCI Web of Science • EZB • OAJI • ProQuest Readera • ResearchBib • ResearchGate • Hayчная электронная библиотека • Ulrich's Periodicals Directory

Nanotehnologii v stroitel'stve Nanotechnologies in construction

nauchnyj Internet-zhurnal

2019 · Tom 11 · № 3

A Scientific Internet-Journal

2019 · Vol. 11 · № 3

Нанотехнологии в строительстве

научный Интернет-журнал

2019 · Tom 11 · № 3











IN THE ISSUE:

B HOMEPE:

- · Modification of concrete by hydrothermal nanosilica
- Модифицирование бетона гидротермальным нанокремнеземом
- Long-term protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings
- Долговременная защита строительных конструкций с использованием наноразмерных покрытий на основе серы
- The control of rheological behaviour for 3d-printable building mixtures: experimental evaluation of «nano» tools prospects
- Управление реологическим поведением смесей для строительной 3D-печати: экспериментальная оценка возможностей арсенала «нано»
- The inventions in nanotechnologies as practical solutions
- Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач

www.nanobuild.ru

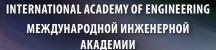
e-mail: info@nanobuild.ru















ISSN 2075-8545 (online) CA(pt) • CrossRef • DOAJ • EBSCO Publishing • ESCI Web of Science • EZB • OAJI • ProQuest Readera • ResearchBib • ResearchGate • Scientific Electronic Library • Ulrich's Periodicals Directory

NANOTEHNOLOGII V STROITEL'STVE: nauchnyj Internet-zhurnal

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION:

A Scientific Internet-Journal

CONTENTS

IN THE ISSUE	235
PUBLISHER INFORMATION	
Aims and scope; The first year of output; Frequency; Topics of the articles, and target audience; International editorial council; International editorial board; The editors; Founder and publisher; Publication ethics; Contacts; Minimal system requirements to access the edition; Archiving; Journal production schedule	240
RESEARCH RESULTS OF THE LEADING SCIENTISTS	
UDC 544.23:691.26-022.532	
Potapov V.V., Efimenko Y.V., Gorev D.S. Modification of concrete by hydrothermal nanosilica	248
DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-248-265	
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	266
APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS	
UDC 691:620.197	
Massalimov I.A., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Akhmetshin B. S., Urakaev F.H., Burkitbaev M.M., Mustafin A.G.	276
Long-term protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings	2/6
DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287	
The electronic edition «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A Scientific Internet-Journal»	288



REVIEW OF NANOTECHNOL	OGICAL INVENTIONS
-----------------------	-------------------

UDC 608; 69.001.5

Ivanov LA., Prokopiev P.S.

The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part III292

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303

INTERNATIONAL PRIZE

About the international Tang Prize.......304

CONCRETE AND MORTARS MODIFIED BY NANOSIZE ADDITIVES

UDC 622.24(07)

Agzamov F.A., Tokunova E.F., Sabirzianov R.R.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-308-324

STUDY OF PROPERTIES OF NANOMATERIALS

UDC 666.9.03

Slavcheva G.S., Artamonova O.V.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334

NANOTECHNOLOGIES IN POWER ENGINEERING

UDC 614.841

Baikov I.R., Smorodova O.V., Kitaev S. V., Kuznetsova E.V., Gizatullina D.T.

Modeling of oil reservoirs heat losses by nanodimensional cellular automata.......335

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350

ON THE OBSERVANCE OF PUBLISHING ETHICS BY THE EDITORS OF ELECTRONIC EDITION «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» AND THE STATEMENT OF PREVARICATION ABSENCE. ON THE USE OF THE CONTENT IN ACCORDANCE WITH CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». DECLARATION OF THE OPEN ACCESS JOURNAL



ISSN 2075-8545 (online)

CA(pt) • CrossRef • DOAJ • EBSCO Publishing • ESCI Web of Science • EZB • OAJI • ProQuest Readera • ResearchBib • ResearchGate • Scientific Electronic Library • Ulrich's Periodicals Directory

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:

научный Интернет-журнал

СОДЕРЖАНИЕ

B HOMEPE	235
ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	
Цели и задачи; первый год выхода; периодичность; тематика статей и целевая аудитория;	
международный редакционный совет; международная редакционная коллегия;	
редакция; учредитель и издатель; издательская этика; контактные данные;	
минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию;	
архивирование; график издания	240
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ	
УДК 544.23:691.26-022.532	
Потапов В.В., Ефименко Ю.В., Горев Д.С.	
Модифицирование бетона гидротермальным нанокремнеземом	248
DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-248-265	
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов	266
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ	
УДК 691:620.197	
Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Масалимов Б.И., Ахметшин Б.С.,	
Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М., Мустафин А.Г.	
Долговременная защита строительных конструкций с использованием	
наноразмерных покрытий на основе серы	276
DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287	
НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: научный Интернет-журнал	288



ОБЗОР ИЗОБРЕ		

УДК	608;	69.	001	.5
-----	------	-----	-----	----

Иванов Л.А., Прокопьев П.С.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРЕМИИ

БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

УДК 622.24(07)

Агзамов Ф.А., Токунова Э.Ф., Сабирзянов Р.Р.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-308-324

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

УДК 666.9.03

Славчева Г.С., Артамонова О.В.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 614.841

Байков И.Р., Смородова О.В., Китаев С.В., Кузнецова Е.В., Гизатуллина Д.Т.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350

О СОБЛЮДЕНИИ РЕДАКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДАНИЯ «НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ» ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ЭТИКИ И ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОТСУТСТВИИ ЗЛОУПОТРЕБЛЕНИЯСЛУЖЕБНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕНТА В СООТВЕТСТВИИ С ЛИЦЕНЗИЕЙ CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». ДЕКЛАРАЦИЯ OPEN ACCESS ЖУРНАЛА.



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)

PUBLISHER INFORMATION

(Aims and scope; The first year of output; Frequency; Topics of the articles, and target audience; International editorial council; International editorial board; The editors; Founder and publisher; Publication ethics; Contacts; Minimal system requirements to access the edition; Archiving; Journal production schedule)

The main aim of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru is to provide information support for the process of invention and application in the world of science intensive technologies (mostly nanotechnological products) in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).

The Main Tasks of the Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»:

- 1. 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.).
- 2. Popularization of achievements of leading scientists, engineers, experts and researchers from different countries
- 3. 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 electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru has been published since 2009 and its periodicity is 6 issues a year.

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ

(цели и задачи; первый год выхода; периодичность; тематика статей и целевая аудитория; международный редакционный совет; международная редакционная коллегия; редакция; учредитель и издатель; издательская этика; контактные данные; минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию; архивирование; график издания)

Основной целью электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» Nanobuild.ru является информационное обеспечение процесса создания и внедрения в мире наукоёмких технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

Основные задачи электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернетжурнал»:

- 1. Предоставление ученым и специалистам из разных стран возможности публиковать результаты своих исследований и получать информацию о современных технологиях и материалах, высокоэффективном оборудовании в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).
- 2. Популяризация достижений ведущих ученых, инженеров, экспертов и исследователей из различных стран. 3. 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.

Электронное издание « Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» Nanobuild.ru издается с 2009 года, периодичность – 6 номеров в год.



The subject of the journal's articles is given in Appendix 2 (chapter «on the observance of publishing ethics by the editors of electronic edition «Nanotechnologies in construction: A scientific internet-journal» and the statement of prevarication absence»).

Every issue of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» contains the information about advanced materials and technologies which are already in use or are about to appear at the market in the near future. That is of great interest for many specialists.

Therefore 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.

INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL (PUBLIC ADVISORY BODY)

Chairman of the international editorial council

Boris V. GUSEV – Editor-In-Chief of Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal», Corresponding Member of RAS, President of Russian Academy of Engineering and International Engineering Academy, Head of Department «Construction Materials and Technologies» Russian University of transport, Honored Scientist of RF, Laureate of USSR and RF State prizes, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Members of the international editorial council

Evgeny M. CHERNYSHOV – Full member of RAACS, Chairman Presidium of Central Regional Department of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Director of Educational Creative Academic Center «Archstroynauka» SUACE Department of Academic Scientific and Educational Cooperation, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Oleg L. FIGOVSKY – Full Member of European Academy of Science, Forein Member of RAE and RAACS, Editor-in-Chief of SITA, OCJ μ RPCS, Director of «Nanotech Industries, Inc.» (USA), and Director of International Nanotechnological R&D

Тематика статей журнала приведена в Приложении 2 (раздел «о соблюдени редакцией электроного издания нанотехнологии в строительстве: научный интернетжурнал» издательской этики и заявление об отсутствии злоупотребления служебным положением»).

В каждом номере электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» публикуется информация о передовых материалах и технологиях, которые уже используются или должны появиться в ближайшее время, а это вызывает большой интерес у специалистов.

Поэтому 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.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ (ОБЩЕСТВЕНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ ОРГАН)

Председатель международного редакционного совета

ГУСЕВ Борис Владимирович – главный редактор электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», членкорреспондент РАН, президент РИА и МИА, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственных премий СССР и РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Члены международного редакционного совета

ЧЕРНЫШОВ Евгений Михайлович – академик РААСН, председатель Президиума Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук, директор образовательного творческого академического центра «Архстройнаука» Воронежского ГАСУ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

ФИГОВСКИЙ Олег Львович – действительный член Европейской академии наук, иностранный член РИА и РААСН, главный редактор журналов SITA, OCJ и RPCS, директор компании «Nanotech Industries, Inc.», Кали-



Center «Polymate» (Israel), President of IAI, Chairman of the UNESCO Chair «Green Chemistry», USA, Israel

Zheng Y. FU – Chief Professor of the Wuhan University of Technology (China); Cheung Kong Scholar of the Ministry of Education of China; Academician of the World Academy of Ceramics; State Key Lab of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan University of echnology, China

Leonid A. IVANOV – Head of the Project «Nanobuild. ru», Chief Academic Secretary and Vice-President of the Russian Academy of Engineering and the International Academy of Engineering, Academician of RAE and IAE, PhD in Engineering, as a Guest Professor of Wuhan University of Technology (China), Member of the International Federation of Journalists, Russian Federation

Sergei V. KALIUZHNIY – Scientific Advisor of Chairman of Board «RUSNANO», Chief Scientist, Member of Board «RUSNANO», Doctor of Chemistry, Professor, Russian Federation

Evgeniy V. KOROLEV – Prorector for Education, Director of the Research and Educational Center «Nanotechnology», National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», Adviser of RAACS, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Surendra P. SHAH – Walter P. Murphy Emeritus Professor of Civil and Environmental Engineering of Northwestern University, Ill., USA, Honorary Professor at the University of L'Aquilla, Italy, and Hong Kong Polytechnic University; Member of American National Academy of Engineering, Chinese Academy of Engineering, and Indian Academy of Engineering, USA

Vladimir Y. SHEVCHENKO – Director of Institute of Silicate Chemistry of Russian Academy of Sciences, Head of Scientific Council RAS on Ceramic and Other Non-metal Materials, Vice-Chair of 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, Member of RAS, Doctor of Chemistry, Professor, Russian Federation

Valeriy I. TELICHENKO – President of National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», 1st vice-president of RAACS, Academician of RAACS

форния (США), директор Международного нанотехнологического исследовательского центра «Polymate» (Израиль), зав. кафедрой ЮНЕСКО «Зелёная химия», президент Израильской Ассоциации Изобретателей, США, Израиль

ЭФУ Дженьги – ведущий профессор Уханьского технологического университета (Китай); лауреат премии Чонг Конг Министерства образования КНР; академик Международной академии керамики; Государственная главная лаборатория передовых технологий для синтеза и обработки материалов, Уханьский технологический университет (Китай)

ИВАНОВ Леонид Алексеевич – руководитель проекта «Nanobuild.ru», главный учёный секретарь и вице-президент Российской и Международной инженерных академий, академик РИА и МИА, кандидат технических наук, приглашенный профессор Уханьского технологического университета (Китай), член Союза журналистов Москвы, России и Международной федерации журналистов, Российская Федерация

КАЛЮЖНЫЙ Сергей Владимирович – советник Председателя Правления ОАО «РОСНАНО» по науке – главный ученый, член Правления ОАО «РОСНАНО», д-р хим. наук, профессор, Российская Федерация

КОРОЛЁВ Евгений Валерьевич – проректор МГСУ по учебной работе, директор НОЦ «Нанотехнологии» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, советник РААСН, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Сурендра П. ШАХ – почетный профессор Северо-Западного Университета, Иллинойс, США; Университета Л'Акуила, Италия; Гонконгского политехнического университета; Действительный член Национальной инженерной академии США, Почетный член Инженерных Академий Китая и Индии (США)

ШЕВЧЕНКО Владимир Ярославович – директор Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова, руководитель Научного совета РАН по керамическим и другим неметаллическим материалам РАН, заместитель председателя Координационного совета по развитию нанотехнологий при Комитете Совета Федерации ФС РФ по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии, академик РАН, д-р хим. наук, профессор, Российская Федерация

ТЕЛИЧЕНКО Валерий Иванович – президент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, 1-й вице-пре-



Honored Scientist of RF, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Li D. XU – Foreign Member of Russian Academy of Engineering, Member of European Academy of Sciences, Ph.D., Fellow of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Founding Editor-in-Chief of the Journal of Industrial Information Integration, Eminent Professor of Information Technologies & Decision Sciences Department, Old Dominion University, USA

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Chairman of the international editorial board

Boris V. GUSEV – Editor-In-Chief of Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal», Corresponding Member of RAS, President of Russian Academy of Engineering and International Engineering Academy, Head of Department «Construction Materials and Technologies» Russian University of transport, Honored Scientist of RF, Laureate of USSR and RF State prizes, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Members of the international editorial board

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

Yury M. BAZHENOV – Head of Department «Binders and Concrete Technologies», Scientific Adviser of the Research and Educational Center «Nanotechnology» in National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», Member of RAE, Academician of RAACS, Honored Scientist of RF, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Vyacheslav R. FALIKMAN – 1st vice-president of Structural Concrete Association, Academician of RAE, Regional Convener of International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM) in East Europe and Central Asia, Member of Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Professor of MSUCE, Doctor of Material Science and Engineering, Russian Federation

зидент РААСН, академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Шу Ли Да – иностранный член Российской инженерной академии, член Европейской академии наук, доктор философии, член Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), учредитель и главный редактор Журнала индустриальной информационной интеграции, профессор Отдела информационных технологий и науки принятия решений, Университет Олд Доминион (США)

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель международной редакционной коллегии

ГУСЕВ Борис Владимирович – главный редактор электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», членкорреспондент РАН, президент РИА и МИА, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственных премий СССР и РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Члены международной редакционной коллегии

Питер Дж. М. БАРТОШ – профессор Королевского Университета Белфаста (Великобритания), председатель Технического комитета по нанотехнологиям в строительных материалах РИЛЕМ (2002–2009 гг.), бывший руководитель Шотландского центра по нанотехнологиям в строительных материалах (Университет Западной Шотландии), Великобритания

БАЖЕНОВ Юрий Михайлович – заведующий кафедрой «Технологии вяжущих веществ и бетонов», научный руководитель НОЦ «Нанотехнологии» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, академик РИА, академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

ФАЛИКМАН Вячеслав Рувимович – 1-й вице-президент ассоциации «Железобетон», академик РИА и МИА, уполномоченный Международного союза экспертов и лабораторий по испытанию строительных материалов, систем и конструкций (РИЛЕМ) в странах Восточной Европы и Средней Азии, член технического комитета Американского института бетона ACI 241 «Нанотехнологии в бетоне», профессор Национального



Vadim G. KHOZIN – Head of Department «Technology of Construction Materials, Products and Structures», Kazan State University of Architecture and Engineering, Honoured Scientist of Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Honoured Figure of Higher Education of RF, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Leonid M. LYNKOV – Head of the Department «Information Security», Belarussian State University ofInformatics and Radioelectronics, Doctor of Engineering, Professor (Minsk, Belarus), Belarus

Polad MALKIN – Ph.D., Senior Researcher, Ben-Gurion University in the Negev, Foreign Member of Russian Academy of Engineering, Chief Executive Officer, «StartUpLab», Israel

Viktor S. MECHTCHERINE – Director of the Institute of Construction Materials, Chair of Construction Materials, Technische Universität Dresden, Professor, Doctor of Engineering, Germany

Pawel SIKORA – Ph.D., Assistant Professor, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland; Postdoctoral Researcher, Technical University of Berlin, Germany

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

Larisa A. URKHANOVA – Head of Department «Production of Building Materials and Wares» East-Siberian State University of Technologies and Management, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

THE EDITORS

Editor-in-Chief – D. Eng., Prof. Boris V. GUSEV Executive Editor – Yulia A. EVSTIGNEEVA Head of Design Department – Andrey S. REZNICHENKO The Chief for Foreign Relations Ph.D. (Engineering) – Svetlana R. MUMINOVA исследовательского Московского государственного строительного университета, доктор материаловедения, Российская Федерация

ХОЗИН Вадим Григорьевич – заведующий кафедрой «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций» Казанского государственного архитектурностроительного университета, заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Татарстан, почетный работник высшего профессионального образования РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

ЛЫНЬКОВ Леонид Михайлович – заведующий кафедрой «Защита информации» УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», д-р техн. наук, профессор (г. Минск, Беларусь), Беларусь

МАЛКИН Полад – старший научный сотрудник, Университет Бен-Гуриона в Негеве, д-р ф.-м. наук, иностранный член Российской инженерной академии, Генеральный директор, «StartUpLab», Израиль

МЕЩЕРИН Виктор Сергеевич – директор института строительных материалов Технического университета Дрездена, д-р техн. наук, профессор (Дрезден), Германия

СИКОРА Павел – кандидат наук, Западнопоморский технологический университет в Щецине (Польша), научный сотрудник Берлинского технического университета, Германия

СОБОЛЕВ Константин Геннадиевич – руководитель технического комитета Американского института бетона ACI 241 «Нанотехнологии в бетоне», профессор Университета Висконсин-Милуоки, США

УРХАНОВА Лариса Алексеевна – заведующая кафедрой «Производство строительных материалов и изделий» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор – д-р техн. наук, профессор ГУСЕВ Борис Владимирович Шеф-редактор – ЕВСТИГНЕЕВА Юлия Анатольевна Начальник отдела дизайна и верстки – РЕЗНИЧЕНКО Андрей Сергеевич Руководитель группы по внешним связям канд. техн. наук – МУМИНОВА Светлана Рашидовна



FOUNDER AND PUBLISHER

OOO «CNT «NanoStroiteIstvo»

- Member of the Publishers International Linking Association, Inc. (PILA);
- Member of the Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP).

The Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» is registered as an independent mass media in the Ministry of Communication and Mass Media of The Russian Federation. (Registration Certificate Эл № ФС77 – 35813 of 31 March 2009 issued by the Federal Service on Supervision in the Sphere of Connection and Mass Communications).

The Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» has been included in the list of peer-review journals in which the candidates for Ph.D. and Doctorate degree must publish the main results of their theses.

The electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» has been included: CA(pt) (USA); DOAJ (Sweden); EBSCO Publishing (USA); ESCI Web of Science (USA); EZB (Germany); OAJI (USA); ProQuest (USA); CrossRef (USA); ISSN 2075-8545 (France); Readera (Russia); ResearchBib (Japan); ResearchGate (USA); Scientific Electronic Library (Russia); Ulrich's Periodicals Directory (USA) et al. Each paper is assigned UDC, DOI, HTML-code.

PUBLICATION ETHICS

Editorial Council, Editorial Board and the editorial staff second the politics aimed at observance of ethical publishing principles and recognize that keeping track of observance of ethical publishing principles is one of the main components in reviewing and publishing activities. The main ethical principles of article publication and review are published in the journal (chapter «On the observance of publishing ethics by the editors of electronic edition «Nanotechnologies in construction: A scientific internetjournal» and the statement of prevarication absence») and at website http://www.nanobuild.ru.

The authors of the published materials are responsible for the reliability of the presented information and utilization of the data which are not to be published avowedly. The editors have the right to make corrections. The opinion of the editors can be different from the authors' opinions, the materials are published to discuss the up-to-date prob-

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО «ЦНТ «НаноСтроительство»:

- член Международной ассоциации по связям издателей (МАСИ);
- член Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ).

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» зарегистрировано 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.).

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» включено в системы цитирования (базы данных): CA(pt) (США); DOAJ (Швеция); EBSCO Publishing (США); ESCI Web of Science (США); EZB (Германия); OAJI (США); ProQuest (США); CrossRef (США); ISSN 2075-8545 (Франция); Hayчная электронная библиотека (Россия); Readera (Россия); ResearchBib (Япония); ResearchGate (США); Ulrich's Periodicals Directory (США) и другие. Каждой научной статье присваиваются УДК, DOI, а также HTML-код.

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ЭТИКА

Редакционный совет, редакционная коллегия, коллектив редакции поддерживают политику, направленную на соблюдение принципов издательской этики, и признают, что отслеживание соблюдения принципов издательской (редакционной) этики является одной из главных составляющих рецензирования и издания. Основные этические принципы публикации статей и рецензирования опубликованы в журнале (раздел «О соблюдении редакцией электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал» издательской этики и заявление об отсутствии злоупотребления служебным положением») и на сайте издания http://www.nanobuild.ru.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений и использование данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция оставляет за собой право вне-



lems. The editors are not responsible for the content of advertisement.

Any full or partial reprinting of the materials is possible only with editors' written permission.

сения редакторской правки. Мнение редакции может не совпадать с мнениями авторов, материалы публикуются с целью обсуждения актуальных вопросов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений (R).

Любая перепечатка материалов полностью или частично возможна только с письменного разрешения редакции.

CONTACTS

Address: Russian Federation, 125009, Moscow,

Gazetny per., bld. 9, str. 4

Internet: http://www.nanobuild.ru

E-mail: info@nanobuild.ru

ARCHIVING

Articles from the journal (article metadata) are available in open access:

- on the website of the electronic publication «Nanotechnology in construction: scientific online magazine», link – http://nanobuild.ru/en_EN/archieve-of-issues/;
- in the full-text database of open-access scientific journals Open Academic Journals Index (OAJI), link http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931;
- on the website of the scientific electronic library, link http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760;
- in the database of scientific journals Directory of Open Access Journals (DOAJ), link https://doaj.org/, next the journal is searched «Nanotehnologii v Stroitel'stve»;
- in the database of scientific journals ResearchBib, link http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545;
- on the Internet resource of scientists of all scientific disciplines ResearchGate, link https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- in the international scientific base Readera https://readera.ru/nanobuild;
- in other citation systems (databases).

That allows scientists and specialists all over the world to study journal's materials and to use them in their work as well as to cite them.

КОНТАКТНЫЕ ДАНЫЕ

Адрес: Российская Федерация, 125009, Москва,

Газетный пер., д. 9, стр. 4

Internet: http://www.nanobuild.ru

E-mail: info@nanobuild.ru

АРХИВИРОВАНИЕ

Статьи из журнала (метаданные статей) размещаются в «открытом доступе»:

- на сайте электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал», ссыл-ка http://nanobuild.ru/ru_RU/, далее раздел «Архив номеров»;
- в полнотекстовой базе данных научных журналов открытого доступа Open Academic Journals Index (OAJI), ссылка http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931;
- на сайте Научной электронной библиотеки, ссылка http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760;
- в базе научных журналов Directory of Open Access Journals (DOAJ), ссылка https://doaj.org/, далее осуществляется поиск журнала «Nanotehnologii v Stroitel'stve»;
- в базе данных научных журналов ResearchBib, ссылка http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545;
- на интернет-ресурсе учёных всех научных дисциплин ResearchGate, ссылка https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- в научной международной базе Readera https://readera.ru/nanobuild;
- в других системах цитирования (базах данных).

Это позволяет ученым и специалистам во всем мире свободно знакомиться с материалами журнала и использовать их в своей деятельности, в т.ч. цитировать в своих статьях.



MINIMAL SYSTEM REQUIREMENTS TO ACCESS THE EDITION / МИНИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ДОСТУПА К ИЗДАНИЮ

Windows

- Intel Pentium® III or equivalent processor.
- Microsoft* Windows* 2000 with Service Pack 4; Windows Server* 2003 (32-bit or 64-bit editions) with Service Pack 1; Windows XP* Professional, Home, Tablet PC(32-bit or 64-bit editions) with Service Pack 2 or 3(32-bit or 64-bit editions); or Windows Vista* Home Basic, Home Premium, Ultimate, Business, or Enterprise with Service Pack 1 or 2 (32-bit or 64-bit editions).
- 128MB of RAM (256MB recommended for complex forms or large documents).
- 170MB of available hard-disk space.
- Microsoft Internet Explorer 6.0 or 7.0, Firefox 1.5 or 2.0, Mozilla 1.7, AOL 9, Google Chrome 5.0, Opera 10.6.

Macintosh

- PowerPC G3, G4, G5 or Intel processor.
- Mac OS X v10.4.11–10.5.5.
- 128MB of RAM (256MB recommended for complex forms or large documents).
- 170MB of available hard-disk space (additional space required for installation).
- Safari® (Shipping with supported OS).

JOURNAL PRODUCTION SCHEDULE IN 2019 / ГРАФИК ИЗДАНИЯ В 2019 ГОДУ

N₅N₅ ⊔\⊔ N⁵Nō	Papers submission deadline Окончание приема материалов от авторов	Editing, proof-reading, layout, agreement Редактирование, корректура, верстка, согласование	The approval of the issue by the Editor-in-Chief Подписание номера главным редактором	Website publication Опубликование на сайте	Note Примеч.
2019, Vol. 11, № 1 2019, Tom 11, № 1	25.01.19	05.02.19	08.02.19	05.03.19	
2019, Vol. 11, № 2 2019, Tom 11, № 2	12.04.19	22.04.19	26.04.19	15.05.19	
2019, Vol. 11, № 3 2019, Tom 11, № 3	27.05.19	27.05.19 31.05.19		25.06.19	
2019, Vol. 11, № 4 2019, Tom 11, № 4	05.08.19	14.08.19	19.08.19	28.08.19	
2019, Vol. 11, № 5 2019, Tom 11, № 5	11.09.19	24.09.19	27.09.19	11.11.19	
2019, Vol. 11, № 6 2019, Tom 11, № 6	01.11.19	15.11.19	22.11.19	27.12.19	

Issue 2019, Volume 11, № 3 approved on 05.06.2019

Номер 2019, Том 11, № 3 подписан 05.06.2019 г.

2019; 11 (3): 248-265



RESEARCH RESULTS OF THE LEADING SCIENTISTS • РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-248-265

UDC 544.23:691.26-022.532

Modification of concrete by hydrothermal nanosilica

Authors:

Vadim V. Potapov,

Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Chief Researcher; vadim_p@inbox.ru;

Yuriy V. Efimenko,

Far Eastern Research Institute of Construction, Russia, Vladivostok, Head of the Center «Building Materials and Technologies», efimenko_yu_v@mail.ru;

Denis S. Gorev,

Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Senior Researcher; denis.goreff2015@yandex.ru

Abstract: The paper shows the possibility to use hydrothermal nanosilica as a modifying additive to increase the strength of concrete based on portland cement. The technology of obtaining hydrothermal nanosilica in the form of sols and nanopowders by ultrafiltration membrane concentration and cryochemical vacuum sublimation is proposed. The results of increased strength of concrete under compression by the addition of hydrothermal nanosilica Sol are presented. The experiments were performed on highly mobile concretes (ST = 10-19 cm) on equal-moving mixtures with water-cement ratio W/C = 0.61-0.71 at a dose of SiO₂ 2 wt.% and the rate of superplasticizer polycarboxylate 0.95 ± 0.05 mas.% by cement. At the initial stage of hardening when the age is 1 day, the increase in the compressive strength of concrete reached 90-128% compared to the control sample. At the age of 28 days the increase in strength was 40%. High chemisorption activity of hydrothermal nanopowder with respect to Ca(OH)₂ was determined in the experiment with lime medium. This indicates that the amorphous nanoadditive SiO₂, which has a high specific surface area, causes the formation of high-strength hydrates of calcium silicates in the cement (lime) medium as a result of the pozzolan reaction, and this causes an increase in the strength of concrete.

Keywords: hydrothermal solution, sol, nanopowder, silica, chemisorption capacity, pozzolan reaction, compressive strength of concrete.

For citation: Potapov V.V., Efimenko Y.V., Gorev D.S. Modification of concrete by hydrothermal nanosilica. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 248–265. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-248-265.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

/>/><a>

/><a>

/><a>

/><a>

/><a>

/><a>

/><a>

/<a>

<pre

The paper has been received by editors: 03.04.2019.
The paper has been received by editors after peer-review: 26.04.2019.
The paper has been accepted for publication: 08.05.2019.

2019; 11 (3): 248-265



RESEARCH RESULTS OF THE LEADING SCIENTISTS • РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ

Модифицирование бетона гидротермальным нанокремнеземом

Авторы:

Потапов Вадим Владимирович,

Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН; Россия, Петропавловск-Камчатский, главный научный сотрудник, vadim_p@inbox.ru;

Ефименко Юрий Васильевич,

Филиал «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству, Россия, Владивосток; зам. руководителя Центра «Строительные материалы и технологии» ДальНИИС, efimenko_yu_v@mail.ru;

Горев Денис Сергеевич,

Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН; Россия, Петропавловск-Камчатский, старший научный сотрудник, denis.goreff2015@yandex.ru

Резюме: Показана возможность применения гидротермального нанокремнезема как модифицирующей добавки для повышения прочности бетона на основе портландцемента. Предложена технология получения гидротермального нанокремнезема в виде золей и нанопорошков с помощью ультрафильтрационного мембранного концентрирования и криохимической вакуумной сублимации. Приведены результаты повышения прочности бетона при сжатии вводом добавки золя гидротермального нанокремнезема. Эксперименты выполнены на высокоподвижных бетонах (ОК = 10-19 см) на равноподвижных смесях с водоцементным отношением B/L = 0.61-0.71 при дозе SiO_2 2 мас.% и расходе суперпластификатора поликарбоксилата 0.95 ± 0.05 мас.% по цементу. На начальной стадии твердения в возрасте 1 сутки повышение прочности бетона при сжатии достигло 90-128% по сравнению с контрольным образцом. В возрасте 28 сут повышение прочности составило 40%. В эксперименте с известковой средой установлена высокая хемосорбционная активность гидротермального нанопорошка по отношению к $Ca(OH)_2$. Это указывает, что аморфная нанодобавка SiO_2 , имеющая высокую удельную поверхность, вызывает образование высокопрочных гидратов силикатов кальция в цементной (известковой) среде в результате пуццолановой реакции, и это обуславливает повышение прочности бетона.

Ключевые слова: гидротермальный раствор, золь, нанопорошок, кремнезем, хемосорбционная способность, пуццолановая реакция, прочность бетона при сжатии.

Для цитирования: Потапов В.В., Ефименко Ю.В., Горев Д.С. Модифицирование бетона гидротермальным нанокремнеземом // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 3. – С. 248–265. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-248-265.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

<imp alt="Creative Commons License" style="border-width:0" src="https://i.creativecommons.org/l/by/4.0/88x31.png" />
/><a>
/><a>
/><a>
/>/><a>
/><a>
/>/><a>
/>/>/><a>
/>/>/><a>
////<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
//<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a><a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<

Статья поступила в редакцию: 03.04.2019. Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.04.2019. Статья принята к публикации: 08.05.2019.



INTRODUCTION

Nowadays one can witness an increasing demand of different kinds of amorphous silica, especially SiO₂, in nanodispersed form (sols, gels and nanopowders) in various industries and construction. The new source for them is hydrothermal solutions extracted in the regions of active volcanism [1, 2, 3].

The methods used in nanotechnology resulted in emergence of new ideas concerning the kinetics of the formation and structure of the calcium silicate hydrate gel-C-S-H (dimensions, shape, density, etc.) [4]. On a small scale (1–5 nm) the C–S–H gel has a layer structure, and layers tend to cluster into compact domains wherein the distances between individual C-S-H layers are in the order of several nanometers. On a larger scale (from 5 to 100 nm) domains form three-dimensional disc-shaped structures of 60x30x5 nm³ (5 nm of thick, length of disk axis is about 60 nm), so-called C-S-H particles. During the hydration process the amount of C-S-H particles increases, the particles aggregate forming three varieties of amorphous C-S-H gel at a micro level (1 µm): 1) LD-C-S-H low density gel; 2) HD-C-S-H high density gel; 3) UD-C-S-H ultrahigh density gel.

Three varieties of the C–S–H gel show different mechanical properties: a C–S–H-gel with a high and ultra-high density possesses higher stiffness and hardness compared to a low-density C–S–H gel. The C–S–H gel lacks a fixed stoichiometry, the gel chemical composition varies from point to point within the batch volume, so the C–S–H gel is characterized by the Ca/Si ratio. According to the data of scanning electron microscopy and transmission electron microscopy the Ca/Si ratio varies within the C–S–H gel in the range of 0.6–2.0.

Nanoparticles with a large specific surface area (up to 1000 m²/g) are distinguished by their chemical activity [5–21]. They can act as centers accelerating hydration reactions, as well as a nanofiller reducing porosity.

The goals of this paper were to show: 1) possibility of applying nanoparticles of hydrothermal silica for rising compressive strength of Portland cement concretes; 2) that one of the main factors affecting increase of concrete strength under the introduction of hydrothermal nanosilica is the reaction of the pozzolanic type between the surface of SiO₂ nanoparticles and calcium hydroxide

(Ca(OH)₂ portlandite – the product of cement minerals hydration (tricalcium silicate – alateum, dicalcium silicate – belite).

MAIN PART

Production of hydrothermal sols and nanopowders and characteristics of them

The experiments on the membrane concentration of nanosilica in the hydrothermal medium were carried out at the sites of operating Mutnovsky geothermal power plant (50 MWt) and Verkhne-Mutnovsky geothermal power plant (12 MWt). At the flow rate of 1100–1200 ton/h of the liquid phase of heat carrier and SiO₂ content in the initial aqueous medium 400–800 mg/kg the potential for SiO₂ production is 3–5 thousand tons per year. Apart from silica there are some others components in Initial aqueous solution (Table 1).

Productive wells of geothermal power plants bring to the surface the heat carrier in the form of a steam-water mixture with a steam quality of 0.2–0.3. In separators steam is separated from water and fed to the turbine for electricity generation. Water enters expanders where in final steps pressure drops to 0.1 MPa (100°C). Then water is fed into heat exchangers in which the temperature is rised to 20–70°C, then it is transferred into a tank for hydrothermal solution aging, polycondensation of the orthosilicic acid molecules and SiO₂ particles growth. After the solution is taken out to the surface the pressure and temperature decrease, the solution becomes supersaturated respect to the amorphous silica solubility, hydrolysis and polycondensation of the orthosilicic acid OSA molecules that lead to the formation of spherical SiO₂ nanoparticles with diameters from 5–100 nm run in it.

The finite sizes of silica particles depend primarily on the temperature and pH at which the polycondensation of the OSA molecules takes place. The polycondensation temperature increase and pH decrease lead to the raise of the finite particle sizes. At the stage of polycondensation the temperature was varied in the range from 20 to 70° C at pH = 9.0-9.2 to form SiO₂ particles with specified sizes and concentrations.

Aqueous silica sols were obtained from the separate after the completion of the OSA polycondensation by 3-step

Table 1 The concentration of main components of the initial hydrothermal solution (the separate of productive wells of Mutnovsky GeoPP), pH = 9.2

| Component | Na ⁺ | K ⁺ | Li ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Fe ^{2+, 3+} | Al ³⁺ | Cl- | SO ₄ ² | HCO ₃ - | CO ₃ ²⁻ | H ₃ BO ³ | SiO ₂ |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Concentration, mg/dm ³ | 282 | 48.1 | 1.5 | 2.8 | 4.7 | < 0.1 | < 0.1 | 251.8 | 220.9 | 45.2 | 61.8 | 91.8 | 780 |



concentration of the ${\rm SiO}_2$ particles with ultrafiltration membranes of polyethersulfone with the parameter of the minimum mass weight cut of particles MWCO = 50 kD: at the 1st stage the ${\rm SiO}_2$ content in the sol was increased from 0.05 to 0.3–0.4 % wt., at the $2^{\rm nd}$ – up to 10 % wt., at the third stage – up to 20–30 % wt. and higher.

To obtain nanopowders the sols were dispersed, the droplets were solidified in the liquid nitrogen at the temperature of -196° C and obtained cryogranules were sublimed in a vacuum chamber at the pressures of 2.6–6.6 Pa. The small size of the sol droplets, the high surface of heat transfer made it possible eventually to achieve rapid hardening and the absence of particles coalescence: the particle sizes in powders did not exceed the particle sizes in sols. The specific energy consumption during the sols production is $0.18-1.0 \text{ kWh/kg SiO}_2$, the total energy consumption for nanopowder production is $7.0-14.3 \text{ kWh/kg SiO}_2$.

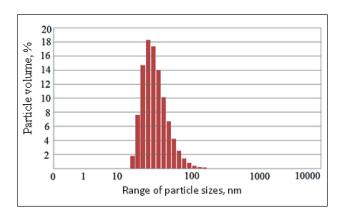


Fig. 1. The distribution of nanoparticles sizes of silica sol's sample

Dynamic light scattering and electrophoretic light scattering (Zetasizer, Mal-vern, Great Britain), scanning electron microscopy (JEM-100CX, JEOL, Japan), low-temperature nitrogen adsorption (ASAP-2010, Micromeritics, USA), X-ray diffraction analysis (ARL X'TRA, Thermo Scientific, Switzerland) were used to study the characteristics of sols and powders.

The chemical composition of the samples was determined on the microanalyzer JXA 8100, GEOL, Japan, equipped with three wave spectrometers and EMF prefix INCAx-sight, Oxford, UK. Working voltage is 20 kV, current is 1*10-8 A. Identified elements are from B to U.

Thermogravimetric analysis (TGA) was performed in closed Pt-crucibles on the derivatograph OD-102 (Hungary) at TG -50 mg and DTGA -1/5 sensitivities to a temperature of $920-940^{\circ}$ C.

The distribution by sizes of silica sol particles was determined with dynamic light scattering method, zeta potential of the particles — by means of electrophoresis. Fig. 1 shows the results for one sol sample with the following characteristics: the sol density $\rho s=1080~g/dm^3$, the content of $SiO_2=150~g/dm^3$, pH=8.6, the average SiO^2 particle diameter $d_m=41.6~nm$, the average zeta potential of the SiO_2 particles surface $\xi_m=-28.2~mV$.

Table 2 presents the range of SiO₂ sol characteristic values where their values can be varied by means of the temperature at the stage of polycondensation of OSA and ultrafiltration membrane concentration.

Fig. 2 shows TEM-images of nanopowder particles obtained by cryochemical vacuum sublimation of the sol sample

The technological regime developed by us makes it possible to vary the characteristics of mesoporous powders within the following limits: the specific surface area

Table 2
Physical and chemical characteristics of aqueous silica sols obtained by the ultrafiltration membrane concentration

| Characteristics | Values |
|---|-------------|
| pH | 8.0–9.2 |
| Total SiO ₂ content, g/dm ³ | 3.0-940.0 |
| Sol density ρ_s , g/dm^3 | 1000-1510 |
| Nanoparticles average diameters, nm | 5-100 |
| Salinity TDS, mg/dm ³ | 800-2000 |
| Specific electrical conductivity $\sigma_{\rm m}$, mS/cm (20°C) | 0,8-1,56 |
| Average Zeta-potential ξ of nanoparticles surface, mV | -25.056.0 |
| Dynamic viscosity η, mPa • s (20°C) | 1.0-120.0 |
| SiO ₂ content in the material precipitated from sol, % wt. | up to 99.72 |



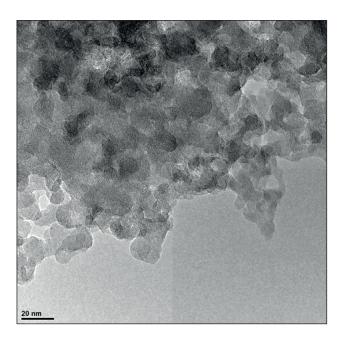


Fig. 2. TEM-images of nanopowder particles

is from 100 up to 500 m²/g, the pore volume is 0.20– 0.30 cm³/g, the average powder pore diameter is from 2 to 15 nm, the average particle diameter is from 5 up to 100 nm, the density of surface silanol groups is up to 4.9 nm^{-2} , the residual moisture is up to 0.2 % wt., and the bulk density is 0.02–0.30 kg/dm³.

Application of nanosilica to improve concrete strength

The experiments were carried out to study the effect of silica nanoparticles on the compressive strength of concretes (cement—sand—water—crushed stone).

Portland cement (PC) of Korean production of 42.5R class, which meets the standards of Russia for Portland cements was used as a binder. According to GOST 31108-2003 it is classified as a type of CEM-I based on clinker with the content C3S = 55-58%, C3A = 8.2-8.5% and conventional chemical-mineralogical clinker quality indicators (lime saturation coefficient KH = 90-91%, alumina module p = 1.7, silicate module n = 2.3). Physicalmechanical characteristics (brand, rest on a sieve No. 008, setting time, compressive strength) are within the requirements of the standard for the fast-hardening Portland cement of CEM I brand of 42.5B class. The fillers were crushed stone of diorite fraction from 5 to 20 mm according to GOST 8267 – State standard of Russian Federation (bulk density is 1300 kg/m³, density is 2.73 g/cm³) and quartz-feldspar sand according to GOST 8736 ($M_{tr} = 3.4$ and 2.9, density is 2.62 g/cm³) in a mixture with standard quartz monofractional sand. The additive/addition is a superplasticizer from a series of highly effective waterreducing ability of polycarboxylates (PCX). The density of the aqueous solution of PCX was 1082 g/dm³, the solids content was 412 mg/g.

The effectiveness of the silica sol addition (additive) was determined by the concrete strength. The watercement ratio was within the limits of W/C = 0.61-0.71, the sediment of the standard cone is ST = 12-19 sm, the SiO₂ content is 2.0 % of the cement mass, the addition of the solution is PCX = 2.2-2.6 % of the mass of cement. Concrete tests were carried out according to GOST 30459-2003, item 7. The consumption of materials (kg/m³) is as follows: cement (PC 550) – 345 ± 5 ; sand quartz-feldspar – 400; sand standard quartz – 400; crushed stone fraction 5-20 mm – 1060. The dosage of the sol was calculated taking into account the fact that there are 3500 g of cement and 2250 g of water in a batch of 10 liters in addition to crushed stone and sand.

Sol volume (V_s) was calculated by the equation:

$$V_{s} = C \cdot SiO_{\gamma}/100 \cdot K_{si}, \tag{1}$$

where C is the cement consumption, g; SiO_2 – silica concentration, %; K_{Si} is SiO_2 content in the sol, g/dm³. Thus, the sol volume per 10 liters of batch is:

$$V_s = 3500 \cdot 2/100 \cdot 115 = 0.609 \text{ dm}^3.$$

This volume of sol contains $0.609 \, [dm^3] \times 15 \, [g/dm^3] = 70 \, g \, SiO_2$. The mobility of concrete mixtures was provided by means of an appropriate dosage of PCX. Technological and structural parameters of the quality of mixtures and concrete were determined according to the following standards: mobility, density of concrete mixture – GOST 10181; concrete density – GOST 12730.0; concrete compressive strength at the age of 1, 2 and 28 days of normal storage and after steam treatment (ST) in accordance with GOST 10180. The efficiency criteria were calculated by the Equation 2 GOST 30459-2003:

$$\Delta R_{t} = 100 \cdot (R_{t}^{b} - R_{t}^{R}) / R_{t}^{b}, \qquad (2)$$

where R_{ι}^{b} is concrete strength of basic composition in the equivalent age, MPa; R_{ι}^{R} – concrete strength of the control composition in the equivalent age, MPa. The results of concretes tests with the addition/additive of silica sol in a combination with PCX are presented in Table 3.

According to the results obtained SiO_2 nanoadditives can be applied: first, to accelerate the strength of concrete (more than twofold increase in strength after the first day of hardening); secondly, to increase strength at the age of 28 days — up to 40%. At W/C = 0.52–0.55 the silica sol introduction resulted in an increase of compressive strength of concrete at the age of 28 days at the cement SiO_2 consumption: 0.5% - (+28), 1% - (+43%), 2% - (48%), 3% - (58.5%).



Table 3
Concrete test results with the addition (additive) of silica sol (№ 66 and № 69 compositions are control, criterion of efficiency is in the brackets)

| | Com- | SiO ₂ ,% | PCX
(SVC | | Slump Mixture | Com | pression s | «Early» strength (R ₁ /R ₂₈), % | | | | |
|-----|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-------|---------------|---------|------------------|--|----------------|----------------|----|----|
| Set | position
number | from C % from C C w/C test, cm kg | density,
kg/m³ | 1 day | 2 days | 28 days | Steam
(1 day) | Storage
stan-
dard | Steam | | | |
| | 66 | _ | _ | 0.643 | 13 | 2345 | 6.8 | 12.0 | 26.6 | _ | 26 | _ |
| 1 | 67 | 2 | 0.95 | 0.715 | 10 | 2322 | 12.7
(+86%) | 19.8
(+65%) | 33.6
(+26%) | _ | 38 | - |
| | 68 | 2 | 1.06 | 0.643 | 18-20 | 2320 | 15.5
(+128%) | _ | 36.4
(+37%) | _ | 43 | _ |
| | 69 | _ | _ | 0.62 | 16 | 2322 | 10.1 | _ | 28.5 | 19.7 | 35 | 69 |
| 2 | 70 | 2 | 0.91 | 0.61 | 18 | 2335 | 19.2
(+90%) | _ | 39.9
(+40%) | 26.6
(+35%) | 48 | 67 |

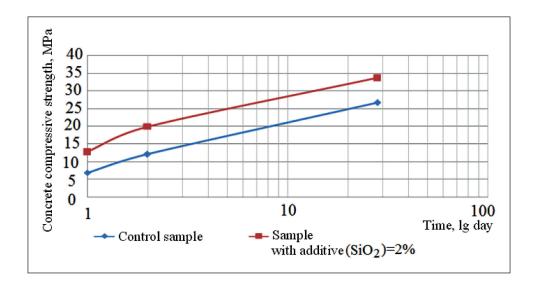


Fig. 3. Concrete strength under the compression: W/C = 0.715 (with SiO_2 additive/addition = 2.0% wt., SiO_2 content in sol - 115 g/dm³), W/C = 0.643 (without additive/addition), superplasticizer - polycarboxylate SVC 5Neu (1.06% wt.)

Chemisorption of Ca(OH)₂ on amorphous silica-containing materials

The calcium oxide was obtained by the thermal decomposition of calcium carbonate (CaCO₃, analytic grade) at 1000°C in the muffle furnace MP-8. The solution of hydrate of lime was obtained by resolution of calcium oxide in the distilled water with the subsequence centrifugal process in the centrifuge Sigma 2-16P (4500 rpm). The solution of calcium hydroxide was stored in the plastic bottle filled with argon. The concentration by CaO is 1.06 g/dm³. Characteristics of argon gas are 99.993%, superior grade, GOST 10157-79.

For the titrimetric determination of calcium, the solution of sodium hydroxide (2 N), solution of Trilon B (0.05 N), indicator murexide (high grade) were used. For determination of Ca^{2+} concentration, 1 ml of sample solution was pipetted to the conic flask (100 ml) for titration, then 10 ml of water, 2 ml of the sodium hydroxide solution and 20-30 ml of murexidev were added and the obtained sample was titrated by the Trilon B solution. A coloring at the final point of titration changed from pink to violet. The molar concentration (mol/l) was calculated by formula:

$$C_{CaO} = V_1 \cdot C_1 / (2 \cdot V_2), \tag{3}$$



where V_1 is the volume of Trilon B solution, C1 is the concentration of Trilon B solution and V_2 is the volume of the sample solution.

Three different silica-containing materials (Geosil, CSF, Bryansk tripoli) were examined. Into the conic flask (250 ml, NS 29/32) with stir-bar Heidolph MR 3001, the test material in amounts of 0.5 to 0.6 g was placed, 250 ml of the calcium hydroxide solution with content by CaO 1.06 g/dm³ were added; the flask was filled with argon and plugged by a stopper. The experiment was executed with a daily agitation (5-10 hours) using the stir-bar. The samples with volumes of 1 ml were taken at intervals of 15 minutes, 5 h, 24 h, 3 days, 5 days etc.; at that, the solution of the calcium hydroxide in the flask was periodically renewed by 60-80% after preliminary centrifuging and the intermediate value of CaO in the renewed solution was determined. Upon completion of the experiment, the deposit was centrifuged (4500 rpm), and washed (for removal of probable precipitates of Ca(OH), at the surface of SiO₂) by the cooled (8–12°C) distilled water to neutral pH. Then the deposit was centrifuged (4500 rpm), washed three times with acetone (analytic grade) for removal of water and dried in the vacuum cabinet at 50°C, 10 mm Hg. The accepted procedure of cleaning preparations from free Ca(OH), was confirmed by

the absence of differencial thermogravimetry analyses (480°C) and X-Ray analyses (2.63, 4.93Å) reflexes. The obtained samples were soldered into the ampoules with argon atmosphere and analyzed.

The data on binding of Ca(OH)₂ by the amorphous silicon dioxides in the argon atmosphere (Fig. 4) were obtained. In different papers it was shown that the reaction between Ca(OH)₂ and SiO₂ proceeds according to a mechanism of chemisorptions [22, 23, 24] by securing the Ca²⁺ cation on the ionized surface silanol groups SiOH. A binding of Ca(OH)₂ was faster realized on the Geosil sample having the greatest specific surface. The difference in binding of Ca(OH)₂ between three samples was expressed especially strongly during the first hours of reaction. At a point in time of 200 h, a binding by CaO was about 680 mg of CaO/1 g of SiO₂ for Geosil, 325 mg of CaO/1 g of SiO2 for CSF, 200 mg of CaO/1 g of SiO₂ for tripoli. With the course of time, a flattening of curves in Fig. 4 took place.

Table 4 shows the final weight change of three different silica after the termination of the binding of CaO. According to table 4, the mass increment of Geosil and CSF samples after saturation was more than twice.

When increasing the mass after interaction with Ca(OH), in the composition of the samples, the pres-

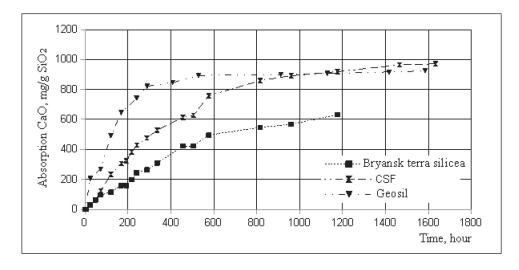


Fig.4. Data on the kinetics of binding of CaO samples Geosil, CSF and Bryansk terra silicea

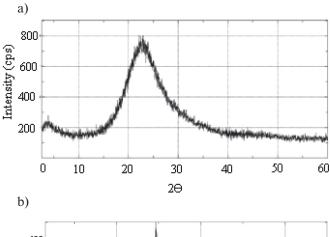
Table 4
Changes in the mass of drugs after saturation in lime water Ca(OH)₂

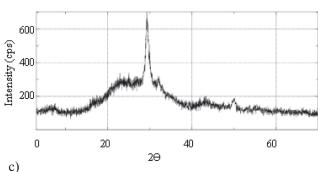
| Sorbent | area, m²/g | | weight after comple-
tion of sorption, g | the increase of mass, time | | |
|-----------------------|------------|-------|---|----------------------------|--|--|
| Geosil | 418 | 1.059 | 2.39 | 2.25 | | |
| Microsilica CSF | 20 | 0.53 | 1.17 | 2.21 | | |
| Bryansk terra silicea | 0.6 | 0.51 | 0.867 | 1.7 | | |



Table 5
Chemical composition (oxides) of the Geosil sample after interaction with Ca(OH), for 8 days (wt. %)

| Spectrum | In stats. | Al | Si | Ca | Total |
|------------|-----------|------|-------|-------|-------|
| Spectrum 1 | Yes | | 29.83 | 26.15 | 55.98 |
| Spectrum 2 | Yes | | 27.08 | 22.29 | 49.38 |
| Spectrum 3 | Yes | | 26.77 | 22.71 | 49.47 |
| Spectrum 4 | Yes | | 26.84 | 21.42 | 48.26 |
| Spectrum 5 | Yes | 0,33 | 30.82 | 26.74 | 57.89 |
| Max. | | 0,33 | 30.82 | 26.74 | |
| Min. | | 0 | 26.77 | 21.42 | |





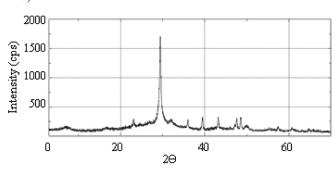


Fig. 5. Data of X-ray analysis of amorphous SiO_2 nanopowder into hydrosilicate (0,9-1,3) $CaO \bullet SiO_2 \bullet H_2O$ during a long interreaction of SiO_2 (am) with $Ca(OH)_2$ in argon medium: a – initial SiO_2 nanopowder; b – interreaction material at the age of 8 days; c – interreaction material at the age of 69 days

ence of significant amounts of Ca together with Si (Geosil sample, table. 5) can be observed.

X-ray diffraction analysis illustrates the transformation of amorphous SiO_2 to the crystalline CSH(I). The formation of Cao • SiO_2 • H_2O crystals from amorphous SiO_2 in Ca(OH)₂ medium was confirmed by x-ray phase analysis (Fig. 5).

CONCLUSION

- 1. It was shown that sols and nanopowders SiO_2 can be produced from hydrothermal solutions. Technological processes of nanosilica obtaining on basis of hydrothermal solutions include solution cooling to the specified temperature, polycondensation and nucleation of the orthosilicic acid and silica particles growth, the membrane concentration by the ultrafiltration and the cryochemical vacuum sublimation.
- 2. Nanosilica obtained on basis of a hydrothermal solution is applicable as an effective modifying additive/addition for concretes: 1) to accelerate solidification; 2) to increase the concrete compressive strength at the age of 28 days.
- 3. Amorphous powder of hydrothermal nanosilica Geosil in lime medium has a high chemisorption activity for the absorption of Ca(OH)2, exceeding the chemisorption activity of other amorphous silica-containing materials (microsilica CSF, Bryansk terra silicea) with a smaller specific surface area. The chemisorption activity established in the experiment is higher in materials with a larger specific surface area: Bryansk terra silicea – CSF-Geosil increases in the series. Pozzolanic reaction is accompanied by very rapid emergence of nano-disperse sedimentation stability of the particles hydrosilicate composition xCaO • ySiO₂ • zH₂O – as the product of the reaction $SiO_2+Ca(OH)_2 \rightarrow CSH$. The products of the Geosil reaction with Ca(OH), contain a significant amount of the element Ca together with Si. Measurements of the mass of the reaction product before and after the pozzolan reaction showed more than a twofold increment, which is consistent with the scheme of the above reaction.



ВВЕДЕНИЕ

Внастоящее время наблюдается рост потребления промышленностью и строительной индустрией различных типов аморфного кремнезема, в частности, SiO₂, в нанодисперсной форме (золей, гелей и нанопорошков). Их новый источник — гидротермальные растворы, извлекаемые на поверхность в районах активного вулканизма [1, 2, 3].

Результаты, полученные с помощью методов нанотехнологий, позволили сформировать новые представления о кинетике образования и структуры геля гидратов силиката кальция – C-S-H (размеры, форма, плотность и др.) [4]. На малом масштабе (1-5 нм) гель C-S-H имеет слоевую структуру, а слои – тенденцию к скоплению в компактные домены, в которых расстояния между отдельными слоями C-S-H составляют порядка нескольких нанометров. На большем масштабе (от 5 до 100 нм) домены формируют трехмерные структуры, имеющие форму диска, размерами 60x30x5 нм (5 нм — толщина, 60 нм — длина оси диска) – так называемые C-S-H-частицы. В ходе процесса гидратации увеличивается количество C-S-H частиц, частицы агрегируют, образуя три разновидности аморфного С-S-Н геля на микроуровне (1 мкм): 1) С-S-Н-гель с низкой плотностью; 2) C-S-H-гель с высокой плотностью; 3) C-S-Hгель с ультравысокой плотностью. Три разновидности геля C-S-H демонстрируют различные механические свойства: С-S-H-гель с высокой и ультравысокой плотностью имеет большие жесткость и твердость по сравнению с гелем C-S-H с низкой плотностью. Гель C-S-H не имеет фиксированной стехиометрии, химический состав геля меняется от точки к точке внутри объема замеса, поэтому гель C-S-H характеризуют отношением Ca/Si. По данным сканирующей электронной микроскопии и трансмиссионной электронной микроскопии, отношение Ca/Si варьирует внутри C-S-H-геля в пределах 0,6-2,0.

Наночастицы, обладающие большой удельной поверхностью (до $1000 \text{ m}^2/\text{г}$), отличаются высокой химической активностью [5—21]. Они могут действовать как центры, ускоряющие реакции гидратации, а также как нанонаполнитель, уменьшая межзерновую микропористость цементов в бетоне.

Целями данной работы было показать: 1) возможность применения наночастиц гидротермального кремнезема для повышения прочности при сжатии портландцементных бетонов; 2) одним из главных факторов повышения прочности бетона при вводе гидротермального нанокремнезема является реакция пуццоланового типа между поверхностью аморфных наночастиц SiO_2 и гидроксидом кальция (портландит $\mathrm{Ca(OH)}_2$ — продукт гидратации цементных минералов: трехкальциевого (алит) и двухкальциевого (белит) силикатов кальция).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Получение гидротермальных золей и нанопорошков SiO_2 и их характеристики

Эксперименты по мембранному концентрированию нанокремнезема в гидротермальной среде были проведены на площадках действующих геотермальных электрических станций — Мутновской ГеоЭС (50 МВт) и Верхне-Мутновской ГеоЭС (12 МВт). При расходе жидкой фазы теплоносителя продуктивных скважин Мутновской ГеоЭС 1100—1200 т/ч и содержании SiO_2 в исходной водной среде 400— 800 мг/кг потенциал по производству нанокремнезема SiO_2 равен 3—5 тыс. т/год. Кроме кремнезема в исходном растворе находится ряд других компонентов (табл. 1).

Продуктивные скважины геотермальных электрических станций выводят на поверхность теплоносителя в виде пароводяной смеси с массовым паросодержанием 0,2-0,3. В сепараторах паровая фаза отделяется и подается на паровую турбину для выработки электроэнергии. Жидкая фаза (сепарат) направляется в расширители, в конечных ступенях которых давление падает до 0,1 МПа (100°C), далее направляется в теплообменники, в которых температура доводится до 20-70°C, затем переводится в танк для старения гидротермального раствора и поликонденсации молекул ортокремниевой кислоты (ОКК) и роста частиц SiO₂. После вывода раствора на поверхность давление и температура снижаются, раствор становится пересыщенным относительно растворимости аморфного кремнезема, в нем про-

Таблица 1 Концентрация основных компонентов исходного гидротермального раствора (сепарат продуктивных скважин Мутновской Гео \Im C), pH = 9,2

| Компонент | Na ⁺ | K ⁺ | Li ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Fe ^{2+, 3+} | Al ³⁺ | Cl- | SO ₄ ² | HCO ₃ - | CO ₃ ²⁻ | H ₃ BO ³ | SiO ₂ |
|----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Концентрация, мг/дм ³ | 282 | 48,1 | 1,5 | 2,8 | 4,7 | < 0,1 | < 0,1 | 251,8 | 220,9 | 45,2 | 61,8 | 91,8 | 780 |



ходят гидролиз и поликонденсация молекул ОКК, приводящие к формированию сферических наночастиц SiO_3 с диаметрами от 5-100 нм.

Конечные размеры частиц кремнезема зависят в первую очередь от температуры и рH, при которых проходит поликонденсация молекул ОКК. Повышение температуры поликонденсации и снижение рH приводят к увеличению конечных размеров частиц. Для формирования частиц SiO_2 с заданными размерами и концентрацией на стадии поликонденсации температуру варьировали в пределах от 20 до 90° С при pH = 9.0-9.2.

Водные золи кремнезема получали из сепарата после завершения поликонденсации ОКК 3-ступенчатым концентрированием частиц SiO_2 с помощью ультрафильтрационных мембран из полиэфирсульфона с параметром минимальной отсекаемой массы

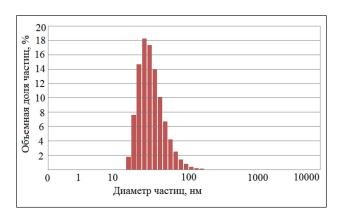


Рис. 1. Распределение размеров наночастиц в образце золя кремнезема

частиц MWCO = 50 кДа: на 1-й ступени содержание SiO_2 в золе повышали от 0,05 до 0,3—0,4 мас.%, на 2-й — до 10 мас.%, на 3-й ступени — до 20—30 мас.% и выше.

Для получения нанопорошков золи диспергировали, мелкие капли отверждали в жидком азоте при температуре -196° С и получали криогранулы, которые сублимировали в вакуумной камере при давлениях 0.02-0.05 мм рт. ст. Мелкие размеры капель золя, высокая поверхность теплообмена позволили в итоге достичь быстрого твердения и отсутствия слипания частиц: размеры частиц в порошках не превышали размеры частиц в золях. Удельный расход электроэнергии при производстве золей составляет 0.18-1.0 кВт • ч/кг SiO_2 , суммарные затраты электроэнергии на получение нанопорошка -7.0-14.3 кВт • ч/кг SiO_2 .

Для изучения характеристик золей, исходных порошков и продуктов их взаимодействия с известью использовали методы динамического рассеяния света и электрофоретического рассеяния света (Zetasizer в, Malvern, Великобритания), сканирующей электронной микроскопии (JEM-100CX, JEOL, Япония), низкотемпературной адсорбции азота (ASAP-2010, Micromeritics, США), рентгенофазового анализа (ARL X'TRA, Thermo Scientific, Швейцария) и минидифрактометр Miniflex, Rigaku, Япония.

Химический состав образцов определялся на микроанализаторе JXA8100, Джеол, Япония, оснащенном тремя волновыми спектрометрами и ЭДС приставкой INCAx-sight, Оксфорд, Великобритания. Рабочее напряжение 20kV, ток 1*10-8 A. Определяемые элементы от В до U.

Таблица 2 Физико-химические характеристики водных золей кремнезема, полученных ультрафильтрационным мембранным концентрированием

| Характеристики | Значения |
|---|-----------|
| pH | 8,0-9,2 |
| Общее содержание SiO ₂ , г/дм ³ | 3,0-940,0 |
| Плотность золя ρ_s , г/дм ³ | 1000-1510 |
| Средние значения диаметров наночастиц, нм | 5-100 |
| Солесодержание TDS, мг/дм ³ | 800-2000 |
| Удельная электропроводность $\sigma_{\rm m}$, мСм/см (20°C) | 0,8-1,56 |
| Средние значения дзета-потенциала | -25,056,0 |
| Динамическая вязкость η, мПа • c (20°C) | 1,0-120,0 |
| Содержание SiO ₂ в веществе, осажденном из золя, мас.% | до 99,72 |



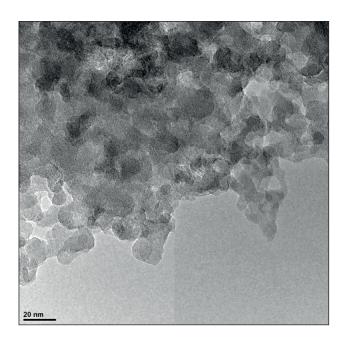


Рис. 2. ТЭМ-изображения наночастиц порошка кремнезема

Термогравиметрический анализ (ДТГА) проводили в закрытых Pt-тиглях на дериватографе OD 102 (Венгрия) при чувствительностях по $T\Gamma - 50$ мг и по ДТГА — 1/5 до температуры 920—940°C.

Распределение частиц золей по размерам определяли методом динамического светорассеяния, дзета-потенциал частиц — методом электрофореза. На рис. 1 приведены результаты определений для одного из образцов золя, имевшего следующие характеристики: плотность золя ρ s = 1080 г/дм^3 , содержание $\text{SiO}_2 = 150 \text{ г/дм}^3$, ρ H = 8,6, среднее значение диаметра частиц SiO_2 dm = 41,6 нм, среднее значение дзета-потенциала поверхности частиц SiO_2 $\xi_m = -28$,2 мВ).

В табл. 2 приведен диапазон характеристик золей ${\rm SiO}_2$, в котором могут варьироваться их значения с помощью температуры на стадии поликонденсации ОКК и ультрафильтрационного мембранного концентрирования.

На рис. 2 приведены ТЭМ-изображения частиц нанопрошка, полученного криохимическим вакуумным сублимированием образца золя.

Разработанный нами технологический режим позволяет варьировать характеристики мезопористых порошков в следующих пределах: удельную поверхность — от 100 до $500 \text{ м}^2/\text{г}$, объем пор — $0.20-0.30 \text{ см}^3/\text{г}$, средний диаметр пор порошка — от 2 до 15 нм, средние диаметры частиц — от 5 до 100 нм, плотность поверхностных силанольных групп — до 4.9 нм^{-2} , остаточную влажность — до 0.2 мас.%, насыпную плотность — $0.02-0.30 \text{ кг/дм}^3$.

Применение нанокремнезема для повышения прочности бетонов

Нами проведены эксперименты по изучению влияния наночастиц кремнезема на прочность при сжатии бетонов (цемент—песок—вода—щебень) вводом золя SiO_3 .

В качестве вяжущего применялся портландцемент (ПЦ) корейского производства класса 42,5R, соответствующий стандартам России для портландцементов. По ГОСТ 31108-2003 он классифицируется как тип ЦЕМ-І на основе клинкера с измеренными нами содержанием C3S = 55-58%, C3A = 8,2-8,5%и обычными химико-минералогическими показателями качества клинкера (коэффициент насыщения известью КН = 90-91%, глиноземный модуль р = 1,7, силикатный модуль n = 2,3). Физико-механические характеристики (марка, остаток на сите № 008, сроки схватывания, предел прочности при сжатии) находятся в пределах требований стандарта к быстротвердеющему портландцементу марки ЦЕМ I класса 42,5Б. Заполнителями служили щебень диоритовый фракции от 5 до 20 мм по ГОСТ 8267 (насыпная плотность 1300 кг/м3, плотность 2,73 г/см3) и песок кварц-полевошпатовый по ГОСТ 8736 (М = 3,4 и 2,9, плотность 2,62 г/см³) в смеси со стандартным кварцевым монофракционным песком. Добавка – суперпластификатор из серии высокоэффективных по водоредуцирующей способности поликарбоксилатов (ПКК). Плотность водного раствора ПКК составляла 1082 г/дм³, содержание сухого вещества — 412 мг/г.

Эффективность действия добавки золя кремнезема определяли по прочности бетонов. Водоцементное отношение было в пределах B/H = 0.61-0.71, осадка стандартного конуса OK = 12-19 см, содержание $SiO_2 = 2.0\%$ от массы цемента, добавка раствора $\Pi KK = 2.2-2.6\%$ от массы цемента. Испытания бетона проведены по ΓOCT 30459–2003 п. 7. Расход материалов (кг/м³) следующий: цемент ($\Pi H 550$) — 345 ± 5 ; песок кварц-полевошпатовый — 400; песок стандартный кварцевый — 400; щебень фракции 5–20 мм — 1060. Дозировку золя рассчитывали с учетом того, что в замес объемом 10 л кроме щебня и песка входит 3500 г цемента и 2250 г воды.

Объем (V_3) золя рассчитывался по формуле:

$$V_3 = \coprod \cdot SiO_2/100 \cdot K_{Si}, \tag{1}$$

где Ц — расход цемента, г; SiO_2 — концентрация кремнезема, %; K_{Si} — содержание SiO_2 в золе, г/дм³. Таким образом, объем золя в расчете на 10 л замеса составляет:

$$V_3 = 3500 \cdot 2/100 \cdot 115 = 0,609 \,\text{дм}^3.$$



Такой объем золя содержит $0,609 \text{ [дм}^3\text{]} \times 115 \text{ [г/дм}^3\text{]} = 70 \text{ r SiO}_3$.

Равноподвижность бетонных смесей обеспечивали с помощью соответствующей дозировки ПКК. Определение технологических и строительно-технических показателей качества смесей и бетона производилось по методикам следующих стандартов: подвижность, плотность бетонной смеси — ГОСТ 10181; плотность бетона — ГОСТ 12730.0; прочность бетона при сжатии в возрасте 1, 2 и 28 сут нормального хранения и после тепловлажностной обработки (ТВО) по ГОСТ 10180.

Критерии эффективности рассчитывали по формуле 2 ГОСТ 30459-2003:

$$\Delta R_{t} = 100 \cdot (R_{t}^{\text{ och.}} - R_{t}^{\text{ kohtp.}}) / R_{t}^{\text{ och.}}, \tag{2}$$

где $R_t^{\text{осн.}}$ — прочность бетона основного состава в эквивалентном возрасте, МПа; $R_t^{\text{контр.}}$ — прочность бетона контрольного состава в эквивалентном возрасте, МПа.

Результаты испытаний бетонов с добавкой золя кремнезема в сочетании с ПКК представлены в табл. 3.

Согласно полученным результатам (рис. 3), нанодобавки SiO_2 применимы: во-первых, для ускорения набора прочности бетона (более чем двукратное повышение прочности после первых суток твердения); во-вторых, для повышения прочности в марочном

Таблица 3
Результаты испытаний бетонов с добавкой золя кремнезема (составы № 66 и № 69 — контрольные, в скобках — критерии эффективности)

| Серия | №
состава | SiO ₂ ,%
от Ц | ПКК
(SVC
5Neu),
%, от Ц | В/Ц | ОК, см | ОК, см Плот-
ность
смеси,
кг/м ³ | Прочность при сжатии, МПа | | | | «Ранняя»
прочность
(R ₁ /R ₂₈), % | |
|-------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|-------|--------|--|---------------------------|----------------|----------------|----------------|--|-----|
| | | | | | | | 1 сутки | 2 суток | 28 сут | ТВО | Норм.
хран. | Пар |
| | 66 | _ | _ | 0,643 | 13 | 2345 | 6,8 | 12,0 | 26,6 | _ | 26 | _ |
| 1 | 67 | 2 | 0,95 | 0,715 | 10 | 2322 | 12,7
(+86%) | 19,8
(+65%) | 33,6
(+26%) | _ | 38 | _ |
| | 68 | 2 | 1,06 | 0,643 | 18-20 | 2320 | 15,5
(+128%) | _ | 36,4
(+37%) | _ | 43 | _ |
| 2 | 69 | _ | _ | 0,62 | 16 | 2322 | 10,1 | _ | 28,5 | 19,7 | 35 | 69 |
| | 70 | 2 | 0,91 | 0,61 | 18 | 2335 | 19,2
(+90%) | _ | 39,9
(+40%) | 26,6
(+35%) | 48 | 67 |

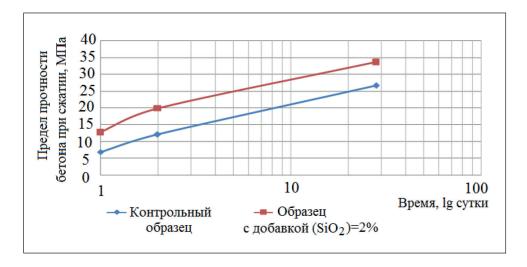


Рис. 3. Предел прочности бетона при сжатии: B/H = 0.715 (с добавкой $SiO_2 = 2.0$ мас.%, содержание SiO_2 в золе -115 г/дм³, суперпластификатор - поликарбоксилат SVC 5Neu (0.95 мас.%)), B/H = 0.643 (без добавки)



возрасте 28 сут — до 40%. При В/Ц = 0,52-0,55 ввод золя кремнезема приводил к повышению прочности бетона при сжатии в возрасте 28 сут при расходах SiO_2 по цементу: 0,5%-(+28%), 1%-(+43%), 2%-(+48%), 3%-(+58,5%).

Хемосорбция Са(ОН)₂ на аморфных кремнеземсодержащих материалах

Оксид кальция получали термическим разложением карбоната кальция ($CaCO_3$, чда) при $1000^{\circ}C$ в муфельной печи МП-8. Раствор гидроксида кальция получали растворением оксида кальция в дистиллированной воде с последующим центрифугированием на центрифуге Sigma 2-16P (4500 об/мин). Раствор гидроксида кальция хранился в пластиковой бутылке, заполненной аргоном. Концентрация по CaO 1,05 г/дм³. Газ аргон (99,993%, сорт высший ГОСТ10157-79).

Для титрометрического определения кальция использовались: раствор гидроксида натрия (2 N), раствор трилона Б (0,05 N), индикатор мурексид (хч). Для определения концентрации Ca^{2+} отбирали пипеткой 1 мл анализируемого раствора в коническую колбу (100 мл) для титрования, прибавляли 10 мл воды, 2 мл раствора гидроксида натрия, 20-30 мг мурексида и титровали раствором трилона Б. Окраска в конечной точке титрования изменялась от розовой к фиолетовой. Молярную концентрацию (моль/л) кальция рассчитывали по формуле:

$$C_{C_3} = V_1 \cdot C_1 / (2 \cdot V_2), \tag{3}$$

где V_1 — объем раствора трилона ${\bf F},\,{\bf C}_1$ — концентрация раствора трилона ${\bf F},\,{\bf V}_2$ — объем анализируемого раствора.

Изучали три различных кремнеземсодержащих материала: Геосил, CSF, брянский трепел. В коническую колбу (250 мл, NS 29/32) с магнитным мешальником Heidolph MR 3001 помещали исследуемый материал в количестве от 0,5 до 0,6 г, наливали 240 мл раствора гидроксида кальция с содержанием по СаО 1,06 г/дм³, заполняли аргоном и закрывали стеклянной пробкой. Эксперимент проводили при ежедневном (по 5-10 часов) перемешивании на магнитной мешалке. Пробу отбирали по 1 мл с интервалами 15 мин, 5 ч, 24 ч, 3 д, 5 д и т.д., при этом раствор гидроксида кальция в колбе периодически обновляли на 60-80% после предварительного центрифугирования и устанавливали промежуточное значение СаО обновленного раствора. По окончании эксперимента осадок центрифугировали (4500 об/мин), промывая (для удаления вероятных осадков Са(ОН), на поверхности SiO_2), охлажденной (8–12°C) дистиллированной водой до нейтрального рН. Затем осадок центрифугировали (4500 об/мин), промывая три раза ацетоном (чда) для удаления воды, и сушили в вакуумном шкафу при 50°C, 10 мм рт. ст. Принятая схема очистки препаратов от свободного Са(ОН), подтвердилась отсутствием рефлексов ДТГА (480°C) и РФА (2,63, 4,93Å). Выделенные образцы запаяли в ампулы в атмосфере аргона и подвергали анализам.

Получены данные по связыванию $Ca(OH)_2$ аморфными кремнеземами в атмосфере аргона (рис. 4). В различных работах показано, что реакция между $Ca(OH)_2$ и SiO_2 идет по механизму хемосорбции [22, 23, 24] закреплением катиона Ca^{2+} на ионизованных поверхностных силанольных группах SiOH. Связывание $Ca(OH)_2$ быстрее проходило на образце Γ еосил, имеющем наибольшую удельную поверхность. Особенно сильно разность в связывании $Ca(OH)_2$ между тремя образцами была выражена

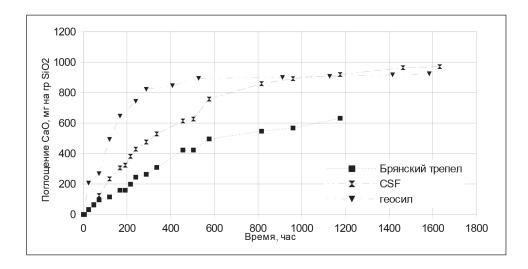


Рис. 4. Данные по кинетике связывания CaO образцами Геосил, CSF и трепел



*Таблица 4*Изменение массы препаратов после насыщения в известковой воде Ca(OH),

| Сорбент | Удельная площадь поверхности, м ² /г | Исходная масса,
г | Масса после завер-
шения сорбции, г | Приращение массы, раз |
|--------------------|---|----------------------|--|-----------------------|
| Геосил | 418 | 1,059 | 2,39 | 2,25 |
| Микрокремнезем CSF | 20 | 0,53 | 1,17 | 2,21 |
| Трепел (брянский) | 0,6 | 0,51 | 0,867 | 1,7 |

Таблица 5 Химический состав (оксиды) образца Геосил после взаимодействия с Ca(OH), в течение 8 суток (мас. %)

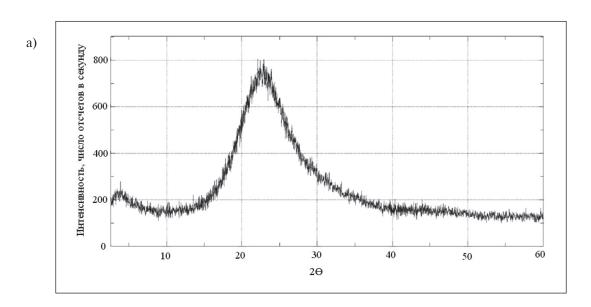
| Spectrum | In stats. | Al | Si | Ca | Total |
|------------|-----------|------|-------|-------|-------|
| Spectrum 1 | Yes | | 29,83 | 26,15 | 55,98 |
| Spectrum 2 | Yes | | 27,08 | 22,29 | 49,38 |
| Spectrum 3 | Yes | | 26,77 | 22,71 | 49,47 |
| Spectrum 4 | Yes | | 26,84 | 21,42 | 48,26 |
| Spectrum 5 | Yes | 0,33 | 30,82 | 26,74 | 57,89 |
| Max. | | 0,33 | 30,82 | 26,74 | |
| Min. | | 0 | 26,77 | 21,42 | |

в первые часы реакции. На момент времени 200 ч связывание по CaO для Геосила составило порядка 680 мг CaO/1 г SiO $_2$, для CSF — 325 мг CaO/1 г SiO $_2$, для трепела — 200 мг CaO/1 г SiO $_2$. С течением времени происходило выполаживание кривых на рис. 4.

В табл. 4 показано конечное изменение массы трех различных кремнеземов после прекращения связывания CaO. Согласно данным таблицы 4, приращение массы образцов Геосил и CSF после насыщения составляло более, чем в два раза.

При увеличении массы после взаимодействия с $Ca(OH)_2$ в составе образцов установлено присутствие вместе с Si значительных количеств Ca (образец Геосил, табл. 5).

Рентгенофазовым анализом проиллюстрировано преобразование аморфного SiO_2 в кристаллогидрат CSH(I). Факт образования кристаллов $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ из аморфного SiO_2 в среде $Ca(OH)_2$ подтвержден с помощью рентгенофазового анализа (рис. 5).





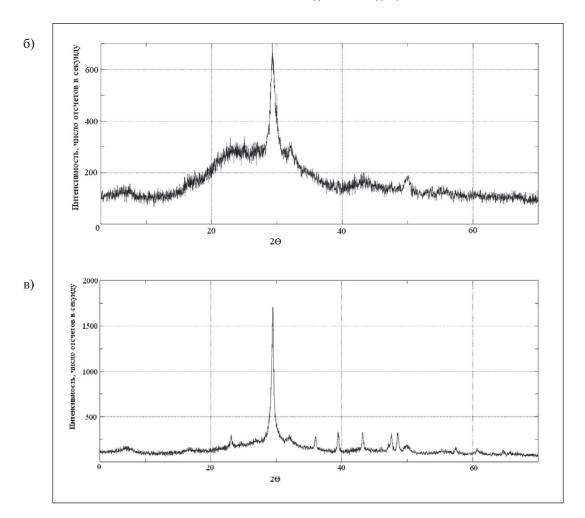


Рис. 5. Данные рентгенофазового анализа преобразования аморфного нанопорошка SiO_2 в гидросиликат (0.9-1.3) $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ в процессе длительного взаимодействия SiO_2 (ам.) с $Ca(OH)_2$ в среде аргона: а — исходный нанопорошок SiO_2 ; б — продукт взаимодействия в возрасте 8 сут; в — продукт взаимодействия в возрасте 69 сут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Показано, что из гидротермальных растворов можно выделять золи и нанопорошки ${\rm SiO}_2$. Технологические процессы получения нанокремнезема включают охлаждение раствора до заданной температуры, нуклеацию и поликонденсацию ортокремниевой кислоты и рост частиц кремнезема, мембранное концентрирование ультрафильтрацией и криохимическую вакуумную сублимацию.
- 2. Нанокремнезем, полученный на основе гидротермального раствора, применим как эффективная модифицирующая добавка для бетонов: 1) для ускорения твердения; 2) повышения предела прочности бетона при сжатии в марочном возрасте 28 сут.
- 3. Аморфный порошок гидротермального нанокремнезема Геосил в известковой и цементной среде обладает высокой хемосорбционной активно-

стью по поглощению Са(ОН),, превышающей хемосорбционную активность других аморфных кремнеземсодержащих материалов (микрокремнезем CSF, брянский трепел) с меньшей удельной поверхностью. Установленная в эксперименте хемосорбционная активность выше у материалов с большей удельной поверхностью: возрастает в ряду брянский трепел-CSF-Геосил. Пуццолановая реакция сопровождается очень быстрым возникновением нанодисперсных седиментационно устойчивых частиц гидросиликатного состава $xCaO \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O - kak$ продукт реакции SiO₂+Ca(OH)₂ → CSH. В продуктах реакции Геосила с Са(ОН), содержится значительное количество элемента Са вместе с Si. Имерения массы продукта реакции до и после прохождения пуццолановой реакции показали более чем двухкратное ее приращение, что согласуется со схемой вышеуказанной реакции.

2019; 11 (3): 248-265



RESEARCH RESULTS OF THE LEADING SCIENTISTS • PEЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ

REFERENCES

- 1. Lesovik V.S., Potapov V.V., Alfimova N.I. Povyshenie effektivnosti vyazhushchih za schet ispol'zovaniya nanomodifikatorov [Improving the efficiency of binders through the use of nanomodifiers]. Building materials. 2011. No. 6. P.12-18. (In Russian).
- 2. Potapov V.V., Tumanov A.V., Zakurazhnov M.S. et al. Povyshenie prochnosti betona za schet vvoda nanochastic SiO₂ [Increase of concrete strength due to introduction of SiO₂ nanoparti-cles]. Physics and chemistry of glass. 2013. Vol. 39. No. 4. P. 611–617. (In Russian).
- 3. Potapov V.V., Serdan A.A., Kashpur V.N. Poluchenie i svojstva nanokremnezema na osnove gidrotermal'nogo rastvora [Preparation and properties of nanosilicon based on hydrothermal solution]. Chemical technology. 2017. No. 2. P. 65–73. (In Russian).
- 4. Sobolev K., Ferrada Gutierrez M. How Nanotechnology Can Change the Concrete World. American Ceramic Society Bulletin. 2005;10:14-19.
- 5. Sobolev K. et al. Development of nano- SiO_2 based admixtures for high-performance ce-ment-based materials. Progress report. CONACYT. Mexico. 2006. 340 P.
- 6. Sobolev K., Flores I., Hermesillo K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotech-nology for high-performance cement composites. Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology Concrete: Recent Developments and Future Perspectives». November 7. 2006. Denver. USA. 296 P.
- 7. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete A review. Construction and Build-ing Materials. No. 24. 2010. P. 2060–2071.
- 8. Yang T., Keller B., Magyari E. AFM investigation of cement paste in humid air at different relative humidities. J. Phys. D.: Appl. Phys. 2002. P. 25–28.
- 9. Beaudoin J., Raki L., Alizadeh R. A 29Si MAS NMR study of modified C–S–H nanostruc-tures. Cem. Concr. Compos. 2009. V. 31(8). P. 585–90.
 - 10. Jennings H.M. Refinements to colloid model of C-S-H in cement: CM-II. Cem. Concr. Res. 2008. V. 38(3), P. 275-289.
- 11. Bordallo H.N., Aldridge L.P., Desmedt A. Water dynamics in hardened ordinary Portland cement paste or concrete: from quasielastic neutron scattering. J. Phys. Chem. 2006. V. 110(17). P. 966–976.
- 12. Faucon P., Delaye J., Virlet J., Jacquinot J., Adenot F. Study of the structural properties of the C–S–H(I) by molecular dynamics simulation. Cem. Concr. Res. 1997. V. 27(10). P. 1581–1590.
- 13. Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of col-loidal nano-silica for beneficial calcium—silicate—hydrate formation in cement. Chem. Phys. Lett. 2004. V. 392(1–3). P. 242–248.
- 14. Li H., Zhang M-H., Ou J-P. Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement. Int. J. Fatig. 2007. V. 29(7). P. 1292—1301.
- 15. Abdoli N., Arefi R., Mollaahmadi E., Abdollahi B. To study the effect of adding Fe₂O₃ nanoparticles on the morphology properties and microstructure of cement mortar. Life Science Journal. 2011. V. 8(4). P. 550–554.
- 16. Li Z., Wang H., He S., Lu Y., Wang M. Investigations on the preparation and mechanical properties of the nano-alumina reinforced cement composite. Mater. Lett. V. 2006. V. 60(3). P. 356–359.
- 17. Nazari A., Riahi H. The effects of ZrO_2 nanoparticles on physical and mechanical proper-ties of high strength self compacting concrete. Materials Research. 2010. V.13. No. 4. P. 1–13.
- 18. Nazari A., Riahi H. Effects of CuO nanoparticles on compressive strength of self-compacting concrete. Sadhana. V. 36. Part 3. June 2011. P. 371–391.
- 19. Chang T.-P., Shih J.-Y., Yang K.-M., Hsiao T.-C. Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite. J. Mater. Sci. 2007. V. 42(17). P. 7478–7487.
- 20. Kuo W.-Y., Huang J.-S., Lin C.-H. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars. Cem. Concr. Res. 2006. V. 36(5). P. 886–895.
- 21. Lee J., Kriven M. Synthesis and hydration study of Portland cement components prepared by the organic steric entrapment method. Mater. Struct. 2005. V. 8(1). P. 87–92.
- 22. Butt Y.M., Raskovic L.N. Tverdenie vyazhushchih pri povyshennyh temperaturah [The hardening of the binders at elevated temperatures]. Moscow. Publishing House of Construction Lit-erature. 1965. 222 p. (In Russian).
 - 23. Lea F.M. Chemistry of cement and concrete. Moscow. Stroyizdat, 1961. 645 pp. (In Russian).
- 24. Efimenko Yu.V., Kuznetsova L.A., Antropova V.A. Osobennosti vliyaniya mikrokrem-nezema na strukturu melkozernistogo keramzitobetona lit'evoj konsistencii [Features of the influence of microsilica on the structure of fine-grained expanded clay casting consistency]. Science and technology of silicate materials present and future: Proc. of Int. Conf. Moscow. CPS, 2003. P. 98–106. (In Russian).



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Лесовик В.С., Потапов В.В., Алфимова Н.И. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // Строительные материалы. -2011. -№ 6. C. 12-18.
- 2. Потапов В.В., Туманов А.В., Закуражнов М.С. и др. Повышение прочности бетона за счет ввода наночастиц SiO_2 // Физика и химия стекла. -2013 . Т. 39, № 4. С. 611-617.
- 3. Потапов В.В., Сердан А.А., Кашпура В.Н. и др. Получение и свойства нанокремнезема на основе гидротермального раствора // Химическая технология. -2017. -№ 2. -C. 65-73.
- 4. Sobolev K., Ferrada Gutierrez M. How Nanotechnology Can Change the Concrete World. American Ceramic Society Bulletin. 2005;10:14-19.
- 5. Sobolev K. et al, «Development of nano-SiO2 based admixtures for high-performance ce-ment-based materials» // Progress report. CONACYT. Mexico. 2006. 340 P.
- 6. Sobolev K., Flores I., Hermesillo K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotech-nology for high-performance cement composites // Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology Concrete: Recent Developments and Future Perspectives». November 7. 2006. Denver. USA. 296 P.
- 7. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete A review // Construction and Build-ing Materials. No. 24. 2010. P. 2060-2071.
- 8. Yang T., Keller B., Magyari E. AFM investigation of cement paste in humid air at different relative humidities // J. Phys. D.: Appl. Phys. 2002. P. 25–28.
- 9. Beaudoin J., Raki L., Alizadeh R. A 29Si MAS NMR study of modified C–S–H nanostruc-tures // Cem. Concr. Compos. 2009. V. 31(8). P. 585–90.
 - 10. Jennings H.M. Refinements to colloid model of C-S-H in cement: CM-II // Cem. Concr. Res. 2008. V. 38(3), P. 275-289.
- 11. Bordallo H.N., Aldridge L.P., Desmedt A. Water dynamics in hardened ordinary Portland cement paste or concrete: from quasielastic neutron scattering // J. Phys. Chem. 2006. V. 110(17). P. 966–976.
- 12. Faucon P., Delaye J., Virlet J., Jacquinot J., Adenot F. Study of the structural properties of the C–S–H(I) by molecular dynamics simulation // Cem. Concr. Res. 1997. V. 27(10). P. 1581–1590.
- 13. Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of col-loidal nano-silica for beneficial calcium—silicate—hydrate formation in cement // Chem. Phys. Lett. 2004. V. 392(1–3). P. 242–248.
- 14. Li H., Zhang M-H., Ou J-P. Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement // Int. J. Fatig. 2007. V. 29(7). P. 1292–1301.
- 15. Abdoli N., Arefi R., Mollaahmadi E., Abdollahi B. To study the effect of adding Fe₂O₃ nanoparticles on the morphology properties and microstructure of cement mortar // Life Science Journal. 2011. V. 8(4). P. 550–554.
- 16. Li Z., Wang H., He S., Lu Y., Wang M. Investigations on the preparation and mechanical properties of the nano-alumina reinforced cement composite // Mater. Lett. V. 2006. V. 60(3). P. 356–359.
- 17. Nazari A., Riahi H. The effects of ZrO₂ nanoparticles on physical and mechanical proper-ties of high strength self compacting concrete // Materials Research. 2010. V.13. No. 4. P. 1–13.
- 18. Nazari A., Riahi H. Effects of CuO nanoparticles on compressive strength of self-compacting concrete // Sadhana. V. 36. Part 3. June 2011. P. 371–391.
- 19. Chang T.-P., Shih J.-Y., Yang K.-M., Hsiao T.-C. Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite // J. Mater. Sci. 2007. V. 42(17). P. 7478–7487.
- 20. Kuo W.-Y., Huang J.-S., Lin C.-H. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars // Cem. Concr. Res. 2006. V. 36(5). P. 886–895.
- 21. Lee J., Kriven M. Synthesis and hydration study of Portland cement components prepared by the organic steric entrapment method // Mater. Struct. 2005. V. 8(1). P. 87–92.
- 22. Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. М.: Издательство литературы по строительству, 1965. 222 с.
 - 23. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Стройиздат, 1961. 645 с.
- 24. Ефименко Ю.В., Кузнецова Л.А., Антропова В.А. Особенности влияния микро-кремнезема на структуру мелкозернистого керамзитобетона литьевой консистенции // Наука и технология силикатных материалов настоящее и будущее: тр. междунар. конф. М.: ЦПС, 2003. C. 98-106.

2019; 11 (3): 248-265



RESEARCH RESULTS OF THE LEADING SCIENTISTS • РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Potapov, Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Leningradskaya street, 65, 19; Doctor of Engineering; Professor, Chief Researcher; vadim_p@inbox.ru;

Yuriy V. Efimenko, Far Eastern Research Institute of Construction, 690033, Russia, Vladivostok, Borodinskaya street, 14, 56; PhD in Engineering, Head of the Center «Building Materials and Technologies», efimenko_yu_v@mail.ru;

Denis S. Gorev, Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Larina street, 22/9. 10; PhD in Engineering; Senior Researcher; denis.goreff2015@yandex.ru

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Потапов Вадим Владимирович, Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН; 683012, Россия, Петропавловск-Камчатский, Ленинградская, д. 65, кв. 19; доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, vadim_p@inbox.ru;

Ефименко Юрий Васильевич, Филиал «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству, 690033, Россия, Владиво-сток, ул. Бородинская, д. 14, кв. 56; к.т.н., зам. руководителя Центра «Строительные материалы и технологии» ДальНИИС, efimenko_yu_v@mail.ru;

Горев Денис Сергеевич, Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН; 683012, Россия, Петропавловск-Камчатский, ул. Ларина, д. 22/9, кв. 10; кандидат технических наук, старший научный сотрудник, denis.goreff2015@yandex.ru

CONTACTS / KOHTAKTЫ

e-mail: denis.goreff2015@yandex.ru



About Wuhan University of Technology

Juhan 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 industrial 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 heldpublic 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 Universityhas 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 andthe «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 Shanghai Ranking'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 disciples 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 make 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

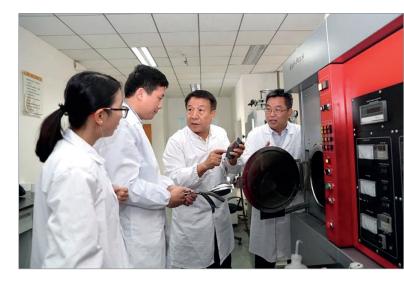


collaborative innovation culture, conducting «strongstrong» international cooperation research to enhance the laboratory's international influence, attractiveness and cohesion.

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, nanocomposite biomaterials for life sciences, information functional materials for information technology and transformation-oriented technology. SKL has formed the following five distinctive research directions: gradient composite technology and new materials, in-situ composite technology and new materials, nano-composite technologies and new materials, transformative technologies and cutting-edge new materials, material composite principles and material design.

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

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



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

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

Contact information

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

Postal Code: 430070

Supporting Institution: Wuhan University of Technology

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

E-mail: sklwut@whut.edu.cn Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua



Об Уханьском университете технологий

/ханьский 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, взращивания высококвалифицированных специалистов и создания прекрасной жизни». УУТ несет ответственность за создание учреждения, который обеспечит качественное образование с целью подготовки студентов к жизни с востребованной профессией и отличными навыками.

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



академии керамики. Кроме того, Университет 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 докторантуры, 226 программ магистратуры, а также 90 программ бакалавриата. В университете 54 986 обучающихся, среди которых 36 452 студентов бакалавриата, 17 224 студентов магистратуры и аспирантов, а также 1 310 иностранных студентов. Более того, публикации по материаловедению, инженерному делу и химии занимают верхние 5% в наукометрической базе Института научной информации США (Essential Science Indicators) международного рейтинга областей знаний.

УУТ располагает 34 инновационными исследовательскими центрами международного уровня, включая две государственные ключевые лаборатории, одну 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 Сейнт Дэвид (Великобритания) в Суонси был основан международный UWTSD Уханьский Лигонг Колледж.

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

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

В связи с большой необходимостью реформы национальной системы высшего образования, деятельность Международной школы материаловедения и инженерного дела (далее МШМиИД) УУТ направлена на создание первоклассной инновационной площадки для подготовки 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 А+ (3 университета занимают этот уровень, образуя топовые 2% в Китае).

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

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







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

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

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

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

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



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

Фокусируясь на общих целях и задачах, ГКЛ создает и разрабатывает многокомпонентную, разномасштабную и многоуровневую теорию проектирования материалов. Она станет важным руководством для разработки технологии градиентных композитных материалов, технологии композитных сборных материалов, технологии 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 Расеsetter Engineering in the New Сепtury, 5 стипендиатов премии Ченг Конг и 18 победителей Проекта поддержки высококлассных

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

ГКЛ установило взаимовыгодное сотрудничество со всемирно известными научными институтами: Мичиганским университетом, Японским агентством авиакосмических технологий, Институтом металлов университета 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 основал Международную лабораторию новых материалов и комплексных технологий, которая стала одним из первых филиалов из 33 международных совместных лабораторий в Китае. Руководство Министерства международного сотрудничества и Министерства образования учредили Базу инноваций и знаний для новых технологий создания композитных материалов и улучшенных функциональных материалов, а также для усовершенствованной технологии производства и разработки инженерных решений новых функциональных тонких пленочных материалов. ГКЛ основал совместную 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

 $Supporting\ Institution: Wuhan\ University\ of\ Technology$

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

E-mail: sklwut@whut.edu.cn Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

2019; 11 (3): 276-287



APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS • ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287

UDC 691:620.197

Long-term protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings

Authors:

Ismail A. Massalimov,

Professor of Bashkir State University (BashSU); Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, ismail_mass@mail.ru;

Aleksandr E. Chuykin,

Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, an2100@yandex.ru;

Burhan I. Massalimov,

Graduate Student, Physics Institute. P.N. Lebedev, Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia; burhan@mephist.ru;

Bulat S. Akhmetshin,

Assistant Professor, Bashkir State University Ufa, Bashkortostan Republic, Russia; akhbulat@mail.ru;

Farit H. Urakaev

Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy Science; Russia, Novosibirsk, urakaev@igm.nsc.ru;

Muhambetkali M. Burkitbaev,

Vice Rector, Al-Farabi Kazakh National University; Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan; mukhambetkali.Burkitbayev@kaznu.kz

Akhat G. Mustafin

Head of Ufa Scientific Center, Ufa Bashkortostan Republic, Russia; agmustafin@gmail.com

Abstract: The problem of creating reliable protective coatings that increase the mechanical characteristics of concrete building structures (piles, bridges, ceiling arches, tunnels, chutes, culverts, wells, paving slabs and curbs, etc.) operated under the influence of atmospheric factors and groundwater is of great importance. Currently, the most effective way to prevent degradation of materials is the application of various kinds of protective compounds. That protects against various factors of aggressive natural and manmade impact and thus allows increasing the durability of buildings and structures by reducing the amount of water penetrating into the pores. To provide long-term protection of building materials, it is proposed to treat porous surfaces of building materials with a new sulfur-containing compound. The innovative developed impregnating composition is based on sulfur and it provides protection of building materials of different nature from weathering and corrosive media for a long time. Modification of the proposed composition can significantly improve performance and increase the service life of building materials.

Keywords: sulfur, polysulfide, nanoparticle, ceramics, concrete.

Acknowledgments: This work was supported by the PTsF of the Republic of Kazakhstan (contract No. 586 dated 04.04.2015) and a grant from the Russian Foundation for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere within the frames of the program in «Start 2015».

For citation: Massalimov I.A., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Akhmetshin B. S., Urakaev F.H., Burkitbaev M.M., Mustafin A.G. Longterm protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 276–287. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287.

${\it Machine-readable\ information\ on\ CC-licenses\ (HTML-code)\ in\ metadata\ of\ the\ paper}$

/a>
/s>pan xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Longterm protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings
/span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologie i v stroite/Istve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 276–287. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Massalimov I.A., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Akhmetshin B. S., Urakaev F.H., Burkitbaev M.M., Mustafin A.G. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

/>Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild-3-2019/
/a>

.br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="ismail_mass@mail.ru

The paper has been received by editors: 02.04.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 23.04.2019.

The paper has been accepted for publication: 13.05.2019.

2019; 11 (3): 276-287



APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS • ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

Долговременная защита строительных конструкций наноразмерными покрытиями на основе серы

Авторы:

Масалимов Исмаил Александрович,

профессор Башкирского государственного университета (БашГУ); Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ismail_mass@mail.ru;

Чуйкин Александр Евгеньевич,

доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Уфа, Республика Башкортостан, Россия, an2100@yandex.ru;

Массалимов Бурхан Исмаилович,

аспирант Физического института им. П.Н. Лебедева, Российская академия наук; Москва, Россия; burhan@mephist.ru;

Ахметшин Булат Салаватович,

ассистент Башкирского государственного университета Уфа, Республика Башкортостан, Россия; akhbulat@mail.ru;

Уракаев Фарит Хисамутдинович,

старший научный сотрудник, В.С. Институт геологии и минералогии им. С.Л. Соболева РАН; Россия, Новосибирск, urakaev@igm.nsc.ru;

Буркитбаев Мухамбеткали Мырзабаевич,

проректор КазНУ им. Аль-Фараби; Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; mukhambetkali.Burkitbayev@kaznu.kz

Мустафин Ахат Григорьевич,

руководитель Уфимского научного центра, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, agmustafin@gmail.com

Резюме: Защитные материалы широко используются в промышленном и гражданском строительстве для увеличения срока службы строительных конструкций. Основная проблема их применения заключается в их недолговечности, особенно если они эксплуатируются в неблагоприятных условиях присутствия воды, знакопеременных температур и солнечной радиации.

Авторами статьи предлагается универсальный метод, позволяющий защищать все пористые неорганические строительные материалы составом на основе полисульфидов. Состав проникает на глубину более 1 см и при высыхании создает в поровом пространстве гидрофобное наноразмерное покрытие, состоящее из наночастиц серы. Покрытие придает материалам наряду с водоотталкивающими свойствами также стойкость по отношению к химическим веществам и патогенным грибам.

Ключевые слова: сера, полисульфид, наночастица, керамика, бетон.

Благодарности: Работа поддержана ПЦФ Республики Казахстан (договор № 586 от 07.04.2015 г.) и грантом Российского фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «Старт 2015».

Для цитирования: Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Масалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М., Мустафин А.Г. Долговременная защита строительных конструкций с использованием наноразмерных покрытий на основе серы // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 3. – С. 276–287. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

<a>sebr />Longterm protection of building structures with sulfur-based nanoscale coatings by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotehnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 276–287. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-276-287" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Massalimov I.A., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Akhmetshin B. S., Urakev F.H., Burkitbaev M.M., Mustafin A.G. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
>based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild-3-2019/
>http://nanobuild-3-2019/
>http://creativecommons.org/ns#" href="ismail_mass@mail.ru
ru" rel="cc:morePermissions">sismail_mass@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 02.04.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 23.04.2019.

Статья принята к публикации: 13.05.2019.



INTRODUCTION

The problem of creating reliable protective coatings I that increase the mechanical characteristics of concrete building structures (piles, bridges, ceiling arches, tunnels, trays, culverts, wells, paving slabs and curbs, curbstones, etc.) operated under the influence of atmospheric factors and groundwater, is of great importance. Increased durability and reliability of road structures, operating under the influence of mechanical and atmospheric factors, is usually achieved by using various types of concrete modification [1] and the use of protective impregnating compositions [2, 3]. The main disadvantage of coatings is the fragility of the components the protective coatings consist of. In all buildings and structures there are structural elements exposed to intense moisture and groundwater effects: foundation blocks, pillows and slabs, piles; socle and subwindow sections of the walls, parapets, protruding elements of the facades (cornices, belts); cover plates; trays, wells, curbstones, paving slabs; arches, culverts, elements of bridges, etc. To protect them, it is insufficient just to form of a thin film of protective coating on the surface of the material, as it is necessary to use compositions that penetrate deeply into the material and prevent it from penetrating water with its constant impact. In these cases, various binders are applied (polymer, silicone, liquid glass, molten sulfur, etc.). Each of the listed materials has disadvantages. For example, organic and organosilicon compounds, despite their high efficiency at the beginning of their useful life, gradually undergo destruction and lose their protective functions. Thus, at present there is no universal method suitable for ensuring the long-term protection of building materials from water penetration in the conditions of its constant presence. The problem is solved partially by impregnating compositions like «Penetron», «Xypex», «Hydrotex» and others. They present waterproofing material of deep penetration for significant increase water resistance and prevention of capillary penetration of moisture through concrete. Their use allows you to protect the concrete from the effects of corrosive environments: acids, wastewater and groundwater, sea water. Processed concrete acquires resistance to carbonates, chlorides, sulfates, nitrates, etc. The use of penetron and others can improve the performance of waterproofness, strength, frost resistance of concrete. But their significant shortcomings that prevent the widespread use in the market of the Russian Federation is the high

To provide long-term protection of building materials, it is proposed to treat the surfaces of porous building materials with a new sulfur-containing compound [4, 5]. The developed impregnating composition based on sulfur ensures the protection of building materials from weathering and corrosive environments for a long time. The composition is a sulfur-containing liquid, which due to

its low viscosity during processing penetrates into the pore structure of the material to a depth of more than 1 cm and upon subsequent drying creates an insoluble protective coating in the pores of the material [6].

The technology of processing elements of structures and products is simple and accessible: like most paints and varnishes, they are applied by brush, pouring, spraying, dipping at any positive temperatures. The principal novelty of the proposed solution is that the hydrophobization is achieved by using a material of inorganic nature - sulfur. The presence of sulfur in the pores of building materials gives them water-repellent properties for a long time – unlike organic paints and varnishes. The originality of the approach is in the fact that at the impregnation stage a water-soluble substance is used and its sulfur molecules fall into the smallest pores of the material. At the drying stage this substance disintegrates and a water-insoluble (hydrophobic) layer of elemental sulfur is formed on the surface of the pores. The use of deep impregnation makes it possible, along with an increase in strength and frost resistance, to decrease water absorption, to significantly increase resistance to atmospheric factors, chemical resistance to acids, salt solutions, and petroleum products. The mineral nature of the coating ensures its durability, and the water repellency inherent in elemental sulfur prevents water from entering the pores of the material. The surfaces treated with the proposed composition acquire not only hydrophobic properties, but also pronounced bactericidal properties, as a result, the processes of decay and the formation of mold are prevented. The composition is not washed out under conditions of prolonged contact with water, it is effective as a primer composition before treatment with organosilicon compositions and solvent-based paints.

MAIN PART

Research results

To illustrate the possibilities of the proposed method of protection of building materials, the following experimental data obtained for materials tested in various conditions are proposed. Since the main focus of application is to protect building structures operating under conditions of constant exposure to moisture, we present the results of the study of the effect of impregnation of protective compound on the properties of various types of porous building materials.

It is known from [7, 8] that sulfur nanoparticles with an average size of 20 nm are deposited from polysulfide solutions, and sulfur nanoparticles observed in a probe microscope are shown in Fig. 1a. What sizes of sulfur particles are deposited on the walls of pores and capillary tracts of porous materials from polysulfide solutions? Particle sizing was carried out by examining the chip-



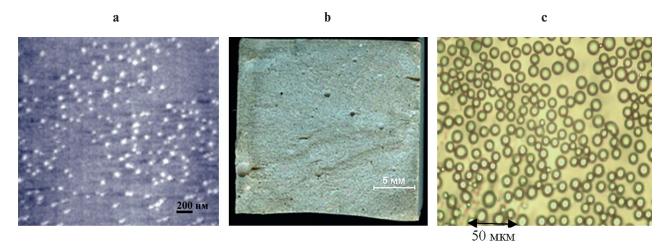


Fig. 1. Image of sulfur nanoparticles deposited on the surface from a polysulfide solution, obtained by means of: probe microscope (a); cleaving the concrete sample treated with polysulfide solution (b); sulfur particles on the surface of the glass, obtained by means of optical microscope (c)

ping of samples of fine-grained concrete 2x2x2 cm in size impregnated with a polysulfide solution for 4 hours at atmospheric pressure. In Fig. 1b it can be seen that the areas of chips with a hydrophobic coating have a dark shade of color. Along the perimeter of the cleaved sample is clearly visible the area into which the impregnating compound has penetrated and, after drying, has formed a water-repellent layer.

In order to analyze the character of the particles in transmitted light, the distribution of the polysulfide solution on the glass after drying has been considered. Analysis of the surface of particles on glass under an optical microscope with a 100-fold increase showed the presence on the surface of spherical formations resembling a collection of small spheres (Fig. 1c). The side of the square presented in Figure 1c is 500 microns. Thus, the polysulfide

solution, as it dries, is crushed into many spheres, which are distributed almost evenly over the surface. In the similar way the formation of solid particles proceeds in the pores of materials. Sulfur nanoparticles are released from a polysulfide solution that has penetrated the smallest capillaries of a porous building material, are fixed on the surface of pores and give a hydrophobic effect.

Using a scanning multimicroscope, a 3-dimensional model was constructed and it was found out that as a result of processing porous material, a coating of sulfur nanoparticles is formed on the surface of pores and capillary tracts of the material (cross-sectional size is 20–150 nm, height is 2–10 nm) (Fig. 2c), which prevents the penetration of water. These plaques of sulfur nanoparticles are clearly visible on the 3D image of the cleaved concrete obtained with scanning multimicroscope (Fig. 2a).



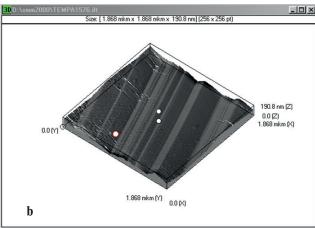
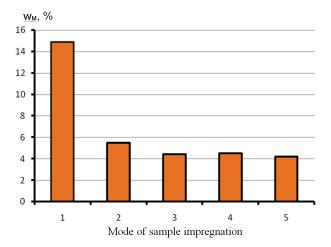


Fig. 2. Image of the cleaved sample of concrete: a) treated with a polysulfide solution; b) unprocessed





W_M, %

12

10

8

6

4

2

0

1 2 3 4 5 6

Sample number

Fig. 3. The influence of the mode of impregnation with a solution of calcium polysulfide on water absorption by weight (wm) of ceramic brick samples: 1 – initial (non-impregnated); 2 – impregnated with a solution of a density of 1.18 g/cm^3 ; 3 – soaked with a solution of a density of 1.25 g/cm^3 ; 4 – impregnated with a brush in three passes with a solution of a density of 1.18 g/cm^3 ; 5 – impregnated with a brush in three passes with a solution of a density of 1.25 g/cm^3

Fig. 4. Influence of the mode of impregnation with a solution of calcium polysulfide on water absorption by weight (wm) of samples of fine-grained cement concrete: 1 — water absorption of the non-impregnated sample; 2 — water absorption of the sample impregnated with immersion for 1 hour; 3 — water absorption of the sample impregnated with immersion for 4 hours; 4 — water absorption of the sample impregnated with immersion for 24 hours; 5 — impregnation in vacuum for 0.5 hours; 5 — vacuum impregnation for 4 hours

Figure 3 shows the dependence of water absorption by mass (wm) of ceramic brick on the mode of impregnation of samples. Usually water absorption by weight of non-impregnated ceramic brick is 14–16%. The sample presented in Figure 3 has a value of we equal to 15.4%. The water absorption of a sample of a ceramic brick impregnated with a polysulfide solution of a density of 1.18 g/cm³ is equal to 5.4%, thus, the value of this parameter decreased by 2.82 times. As a result of impregnation with a solution with a density of 1.25 g/cm³, the water absorption of the sample decreased to a value of 4.5%, that is, decreased by 3.5 times. Significant reduce of water absorption of the samples can be achieved due to application of solution with brush. When used for processing faces of solutions with a density of 1.18 g/cm³ and 1.25 g/cm³, the water absorption of the samples was 4.5% and 4.2%, respectively.

The test results for ceramic brick samples impregnated with a polysulfide solution show that full immersion impregnation protects the wall product from water penetration. The effectiveness of protection depends on the density of the solution. The method of applying the solution with a brush also effectively protects the walls of ceramic bricks from water penetration.

Let us consider the possibilities of the method of protecting structures with polysulfide solutions on samples of fine-grained concrete with an initial water absorption by weight of 12.4%. Figure 4 shows the test data for samples

of fine-grained concrete obtained with different processing modes. In this case, impregnation for 1 hour provides a significant reduction in water absorption from value of 12.4% to 6.43%, treatment for 4 hours reduces water absorption to value of 4.6%. Impregnation for 24 hours allows to reduce water absorption to 1.4%, which is a good result, since it corresponds to the level of water absorption of heavy concrete.

A further reduction in water absorption can be achieved by impregnating samples under vacuum, in this case impregnation for 0.5 hours ensures a decrease in water absorption of the sample to 0.75%, and aging under vacuum for 4 hours to 0.25%. The data shown in Fig. 4 demonstrate that the treatment of fine-grained concrete with an impregnating composition reduces its water absorption to a level corresponding to heavy concrete, which leads to increase in frost resistance, water resistance and durability of products and structures made of fine-grained concrete and allows expanding the area of its use in manufacturing road products and designs, as well as front wall cladding products.

The results of experiments to study the effect of impregnation with a polysulfide solution on the compressive strength of full-scale products (concrete paving slabs of the Wave type) are shown in the table. The tests were carried out at a temperature of 20°C, atmospheric pressure, impregnation lasted 4 hours. The average strength of the first series (6 samples) of non-impregnated concrete tiles



Table.Compressive strength of concrete pavement slabs impregnated with calcium polysulfide solution

| | The untreated sample | Concrete paving slabs «Wave» | | |
|--|----------------------|---|--|------------------------|
| Name indicators | | Solution density
1.1 g/cm ³ | Solution density
1.23 g/cm ³ | Solution density g/cm³ |
| Tile Series Number | 1 | 2 | 3 | 4 |
| The strength of concrete slabs in compression, kgf/cm² (GOST 10180-2012) | 465 | 478 | 496 | 482 |

in compression was 465 kgf/cm². Processing the tiles of series No. 2 with a solution of a density of 1.1 g/cm³ leads to an increase in strength up to 478 kg/cm². Processing samples of series No. 3 with a solution of a density of 1.23 g/cm³ provided an increase in strength to values of 496 kg/cm². A further increase in the density of the impregnating solution is not advisable, since it does not increase the strength of the concrete product (series No. 4), since a high density of the solution equal to 1.28 g/cm³ leads to an increase in the viscosity of the solution, and it does not penetrate into the smallest concrete capillaries that ultimately leads to a decrease in strength. Thus, the impregnation of concrete with a solution of a density of 1.23 g/cm³ leads to a compaction of its structure, which is manifested in an increase in the compressive strength of concrete tiles by 3-7%.

CONCLUSION

Based on the above results, we can make the following conclusions:

1. The impregnation of porous building materials with polysulfide solutions creates the conditions for their penetration into the thinnest capillaries and deposition of crystallizable particles on the surface of pores

- in the form of sulfur nanoparticles, thereby ensuring a hydrophobic effect;
- 2. The proposed method of protection of building materials is universal, can be used for concrete products and structures, ceramic bricks, aerated concrete and other porous materials, processing can be carried out using a brush, dipping, spraying at room temperature similar to the technology of using other paints and varnishes, protection can be adjusted by the duration of the impregnation and the number of repetitions of the process [9–11].
- 3. The practical importance of the proposed method of protection of concrete and reinforced concrete structures and products exposed to the direct impact of groundwater is that water absorption by concrete mass can be achieved within 1–3% and the waterproofing grade W8-W10 at which water ceases to be filtered through concrete surface.
- 4. The method considered in this article is promising for the protection of external surfaces of masonry facades of buildings from any small-piece wall products, as well as wall and road concrete products. In addition, the method can be used to maintain the operational reliability of external walls and foundations of existing buildings and structures that require major repairs.

ВВЕДЕНИЕ

Задача создания надежных защитных покрытий, повышающих механические характеристики бетонных строительных конструкций (свай, мостов, арок перекрытий, тоннелей, лотков, водопропускных труб, колодцев, тротуарных и дорожных плит, бордюрных камней и др.), эксплуатирующихся в условиях воздействия атмосферных факторов и грунтовых вод, актуальна. Увеличение долговечности

и надежности дорожных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия механических и атмосферных факторов, обычно достигается применением различного рода модифицирования бетона [1], применения защитных пропиточных составов [2, 3]. Самым главным недостатком покрытий является недолговечность компонентов самих защитных покрытий. Во всех зданиях и сооружениях есть элементы конструкций, подверженные интенсивному воздействию влаги и грунтовых вод: фундаментные блоки,



подушки и плиты, сваи; цокольные и подоконные участки стен, парапеты, выступающие элементы фасадов (карнизы, пояски); плиты покрытия; лотки, колодцы, бордюрные камни, тротуарная плитка; арки, водопропускные трубы, элементы мостов и др. Для их защиты нельзя обойтись образованием тонкой пленки защитного покрытия на поверхности материала, а требуется применение составов, которые бы глубоко проникали глубоко внутрь материала и предохраняли его от проникновения воды при ее постоянном воздействии. В этих случаях используют различные связующие (полимерные, кремнийорганические, жидкое стекло, расплав серы и пр.). Каждому из перечисленных материалов присущи недостатки. Например, органические и кремнийорганические соединения, несмотря на высокую эффективность в начале срока эксплуатации, постепенно претерпевают деструкцию и теряют свои защитные функции. Таким образом, в настоящее время отсутствует универсальный метод, пригодный для обеспечения долговременной защиты строительных материалов от проникновения воды в условиях ее постоянного присутствия. Отчасти проблема решается пропиточными составами типа «Пенетрон», «Ксайпекс», «Гидротекс» и другие, они представляют собой гидроизоляционный материал глубокого проникновения для значительного увеличения водонепроницаемости и предотвращения капиллярного проникновения влаги через бетон. Их применение позволяет защитить бетон от воздействия агрессивных сред: кислот, сточных и грунтовых вод, морской воды. Обработанный бетон приобретает стойкость к воздействию карбонатов, хлоридов, сульфатов, нитратов и пр. Применение пенетрона и др. позволяет повысить показатели водонепроницаемости, прочности, морозостойкости бетона. Но их существенными недостатками, препятствующими широкому использованию на рынке РФ, является высокая стоимость.

В качестве средства долговременной защиты строительных материалов предлагается обработка поверхностей пористых строительных материалов новым серосодержащим составом [4, 5]. Разработанный пропиточный состав на основе серы обеспечивает защиту строительных материалов от атмосферных воздействий и агрессивных сред в течение длительного времени. Состав представляет собой серосодержащую жидкость, которая благодаря низкой вязкости при обработке проникает в поровую структуру материала на глубину более 1 см и при последующем высыхании создает в порах материала нерастворимое защитное покрытие [6].

Технология обработки элементов конструкций и изделий проста и доступна: как и большинство лакокрасочных материалов, они наносятся кистью,

наливом, распылением, погружением при любых положительных температурах. Принципиальная новизна предлагаемого решения заключается в том, что гидрофобизация достигается применением материала неорганической природы – серы. Наличие серы в порах строительных материалов придает им водоотталкивающие свойства на длительное время в отличие от органических лакокрасочных материалов. Оригинальность подхода заключается в том, что на стадии пропитки используется растворимое в воде вещество, в составе которого молекулы серы попадают в мельчайшие поры материала. На этапе сушки это вещество распадается и на поверхности пор образуется нерастворимый в воде (гидрофобный) слой элементной серы. Применение глубокой пропитки позволяет наряду с повышением прочности и морозостойкости, уменьшением водопоглощения существенно повысить стойкость к атмосферным факторам, химическую стойкость к кислотам, солевым растворам, нефтепродуктам. Минеральная природа покрытия обеспечивает его долговечность, а присущие элементной сере водоотталкивающие свойства предотвращают доступ воды в поры материала. Поверхности, обработанные предлагаемым составом, приобретают не только гидрофобные свойства, но также и ярко выраженные бактерицидные свойства, в результате предотвращаются процессы гниения и образования плесени. Состав не вымывается в условиях длительного контакта с водой, эффективен в качестве грунтовочного состава перед обработкой кремнийорганическими композициями и красками на основе растворителей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Результаты исследований

Для иллюстрации возможностей предлагаемого метода защиты строительных материалов предлагаются следующие экспериментальные данные, полученные для материалов, испытанных в различных условиях. Так как основным направлением применения предполагается защита строительных конструкций, эксплуатируемых в условиях постоянного воздействия влаги, приводим результаты исследования влияния пропитки защитным составом на свойства различных видов пористых строительных материалов.

Из работ [7, 8] известно, что из полисульфидных растворов осаждаются наночастицы серы средним размером 20 нм, на рис. 1а изображены наночастицы серы, наблюдаемые в зондовом микроскопе. Каких же размеров частицы серы осаждаются на стенках пор и капиллярных трактов пористых материалов из полисульфидных растворов? Определение разме-



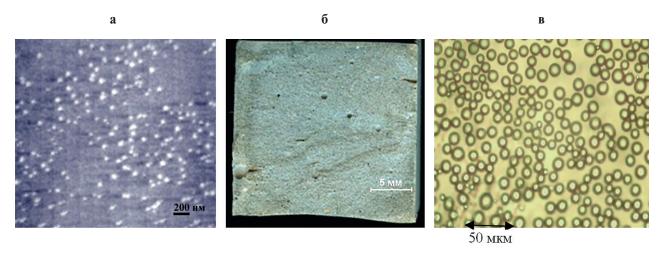


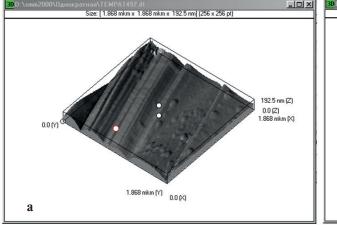
Рис. 1. а — Изображение наночастиц серы из полисульфидного раствора, полученное с помощью зондового микроскопа; б — изображение скола бетона образца, обработанного полисульфидным раствором; в — изображение наночастиц серы на поверхности скола бетона, полученное с помощью сканирующего мультимикроскопа

ров частиц проводилось путем исследования сколов образцов мелкозернистого бетона размером 2x2x2 см, пропитанных полисульфидным раствором в течение 4 часов при атмосферном давлении. На рис.16 видно, что области сколов, имеющие гидрофобное покрытие, имеют темный оттенок цвета. По периметру скола образца отчетливо видна область, в которую проник пропиточный состав и после высыхания образовал водоотталкивающий слой.

Для того чтобы проанализировать в проходящем свете характер частиц, было рассмотрено распределение полисульфидного раствора на стекле после высыхания. Анализ поверхности частиц на стекле под оптическим микроскопом со 100-кратным увеличением показал присутствие на поверхности сфери-

ческих образований, напоминающих совокупность маленьких сфер (рис. 1в). Сторона квадрата, представленного на рис.1в, равна 400 микрон. Таким образом, полисульфидный раствор по мере высыхания дробится на множество сфер, которые распределены практически равномерно по поверхности. Аналогично происходит и формирование твердых частиц и в порах материалов. Из полисульфидного раствора, проникшего в мельчайшие капилляры пористого строительного материала, в процессе высыхания выделяются наночастицы серы, которые закрепляются на поверхности пор и дают гидрофобный эффект.

С помощью сканирующего мультимикроскопа построена 3-х мерная модель и установлено, что в результате обработки пористого материала на по-



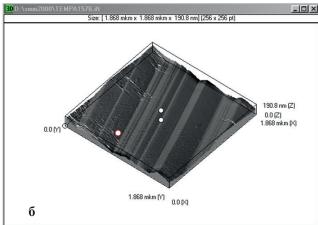
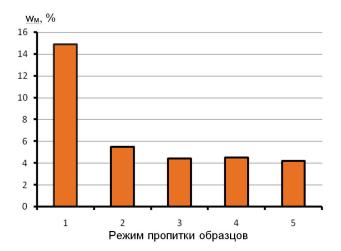


Рис. 2. Изображение скола образца бетона: а) обработанного полисульфидным раствором; б) необработанного





W_M, %

14

12

10

8

6

4

2

0

1

2

3

4

5

6

Homep образца

Рис. 3. Влияние режима пропитки раствором полисульфида кальция на водопоглощение по массе (wm) образцов керамического кирпича: 1 — исходный (непропитанный); 2 — пропитанный раствором плотностью 1,18 г/см³; 3 — пропитанный раствором плотностью 1,25 г/см³; 4 — пропитанный кистью за три прохода раствором плотностью 1,18 г/см³; 5 — пропитанный кистью за три прохода раствором плотностью 1,25 г/см³

Рис. 4. Влияние режима пропитки раствором полисульфида кальция на водопоглощение по массе (wm) образцов мелкозернистого цементного бетона: 1 — водопоглощение непропитанного образца; 2 — водопоглощение образца, пропитанного погружением на 1 час; 3 — водопоглощение образца, пропитанного погружением на 4 часа; 4 — водопоглощение образца, пропитанного погружением на 24 часа; 5 — пропитка в вакууме в течение 0,5 часа; 5 — пропитка в вакууме в течение 4 часов

верхности пор и капиллярных трактов материала образуется покрытие из наночастиц серы (поперечный размер -20-150 нм, высота -2-10 нм) (рис. 2в), которое препятствует проникновению воды. Эти бляшки из наночастиц серы отчетливо видны на объемном изображении скола бетона, полученного с помощью сканирующего мультимикроскопа (рис.2а).

На рис. 3 приведена зависимость водопоглощения по массе (wm) керамического кирпича от режима пропитки образцов. Обычно водопоглощение по массе непропитанного керамического кирпича составляет 14—16%. Образец, представленный на рис. 3, имеет значение w равное 15,4%. Водопоглощение образца керамического кирпича, пропитанного раствором полисульфида плотностью 1,18 г/см³, равен 5,4%, таким образом, значение этого параметра уменьшилось в 2,82 раза. В результате пропитки раствором плотностью 1,25 г/см³ водопоглощение образца снизилось до значения 4,5%, то есть уменьшилось в 3,5 раза.

Значительно снизить водопоглощение образцов позволяет нанесение раствора кистью. При использовании для обработки граней растворов плотностью $1,18 \text{ г/cm}^3$ и $1,25 \text{ г/cm}^3$ водопоглощение образцов составило 4,5% и 4,2% соответственно.

Результаты испытаний для образцов керамического кирпича, пропитанных полисульфидным раствором, показывают, что пропитка полным

погружением хорошо защищает стеновое изделие от проникновения воды. Эффективность защиты зависит от плотности раствора. Способ нанесения раствора кистью также позволяет эффективно защищать стены из керамического кирпича от проникновения воды.

Рассмотрим возможности метода защиты конструкций полисульфидными растворами на образцах мелкозернистого бетона с исходным водопоглощением по массе 12,4%. На рис. 4 приведены данные испытаний для образцов мелкозернистого бетона, полученные при различных режимах обработки. В этом случае пропитка в течение 1 часа обеспечивает существенное снижение водопоглощения со значения 12,4% до 6,43%, обработка в течение 4 часов снижает водопоглощение до значения 4,6%. Пропитка в течение 24 часов позволяет снизить водопоглощение до 1,4%, что является хорошим результатом, так как соответствует уровню водопоглощения тяжелого бетона.

Дальнейшее снижение водопоглощения можно обеспечить при пропитке образцов под вакуумом, в этом случае пропитка в течение 0,5 часа обеспечивает снижение водопоглощения образца до 0,75%, а выдержка под вакуумом в течение 4 часов — до 0,25%. Данные, приведенные на рис.4, показывают, что обработка мелкозернистого бетона пропиточным составом позволяет снизить его водо-



Таблица
Прочность на сжатие бетонных тротуарных плиток, пропитанных раствором полисульфида кальция

| Помученования | Haafinaf amayyyy v | Плиты бетонные тротуарные «Волна» | | | |
|--|---------------------------|---|---|--|--|
| Наименование
показателей | Необработанный
образец | плотность раствора
1,1 г/см ³ | плотность раствора 1,23 г/см ³ | плотность раствора
1,28 г/см ³ | |
| Номер серии плиток | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Прочность бетона плит на сжатие, кгс/см ² (ГОСТ 10180-2012) | 465 | 478 | 496 | 482 | |

поглощение до уровня, соответствующего тяжелому бетону, что приводит к повышению морозостой-кости, водонепроницаемости и долговечности изделий и конструкций из мелкозернистого бетона и позволяет расширить область его использования при изготовлении дорожных изделий и конструкций, а также фасадных стеновых облицовочных изделий.

Результаты экспериментов по исследованию влияния пропитки полисульфидным раствором на прочность на сжатие натурных изделий (плитки бетонные тротуарные типа «Волна») приведены в табл. Испытания проводились при температуре 20°C, атмосферном давлении, пропитка длилась 4 часа. Средняя прочность первой серии (6 образцов) непропитанных бетонных плиток на сжатие составила 465 кгс/см². Обработка плиток серии № 2 раствором плотностью 1,1 г/см³ приводит к возрастанию прочности до 478 кг/см². Обработка образцов серии № 3 раствором плотностью 1,23 г/см³ обеспечила повышение прочности до значений 496 кг/см². Дальнейшее увеличение плотности пропиточного раствора не целесообразно, так как не приводит к повышению прочности бетонного изделия (серия № 4), изза высокой плотности раствора, равной 1,28 г/см³, приводит к увеличению вязкости раствора, и он не проникает в самые мелкие капилляры бетона, что в конечном итоге приводит к снижению прочности. Таким образом, пропитка бетона раствором плотностью 1,23 г/см³ приводит к уплотнению его структуры, что проявляется в повышении прочности на сжатие бетонных плиток на 3-7%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1. При пропитке пористых строительных материалов полисульфидными растворами создаются условия их проникновения в самые тонкие капилляры и осаждения кристаллизующихся частиц на поверхности пор в виде наночастиц серы, тем самым обеспечивается гидрофобный эффект;
- 2. Предложенный метод защиты строительных материалов является универсальным, может быть использован для бетонных изделий и конструкций, керамического кирпича, газобетона и других пористых материалов, обработка может быть осуществлена с помощью кисти, погружением, распылением при комнатной температуре аналогично технологии применения других лакокрасочных материалов, уровень защиты может регулироваться длительностью пропитки и количеством повторений процесса обработки [9—11].
- 3. Практическое значение предлагаемого метода защиты бетонных и железобетонных конструкций и изделий, подвергающихся прямому воздействию подземных вод, заключается в том, что можно добиться водопоглощения по массе бетона в пределах 1–3 % и марки по водонепроницаемости W8-W10, при которых вода перестает фильтроваться через бетонную поверхность.
- 4. Рассмотренный в данной статье метод перспективен для защиты внешних поверхностей кладки фасадов зданий из любых мелкоштучных стеновых изделий, а также стеновых и дорожных изделий из бетона. Кроме того, метод может быть использован для поддержания эксплуатационной надежности наружных стен и фундаментов существующих зданий и сооружений, требующих капитального ремонта.



REFERENCES

- 1. Bazhenov Yu.M., Kalashnikov V.I., Demyanova V.S. Modified high quality concretes. Moscow, Publishing house ASV, 2006, 368 p. (In Russian).
- 2. Ramachandran V., Feldman R., Baudouin J. Concrete Science. Physico-chemical concrete science. Per. from English Ed. Ratinova V.B. Moscow, Stroiizdat, 1986, 278 p. (In Russian).
 - 3. Pokrovsky N.S. Impregnating waterproofing concrete. Moscow, Energy, 1964, 112 p. (In Russian).
- 4. Musavirov R.S., Massalimov I.A., Babkov V.V., Chuykin A.E., Balobanov M.A., Sharabyrov M.V Impregnating water-repellent compositions based on water-soluble sulfur. Construction materials. 2003. № 10. p. 25–27. (In Russian).
- 5. Massalimov I.A., Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E., Mustafin A.G. Protection of Building Constructions with Sulfur Impregnating Solution. Study of Civil Engineering and Constructions with Sulfur Impregnating Solution 2013. Vol. 2, Issue 2, p. 19–24.
- 6. Massalimov I.A., Chuikin A.E., Yanakhmetov M.R., Khusainov A.N., Mustafin A.G. The method of processing construction materials with polysulfide solutions. Eurasian patent number № 024383. 2014.
- 7. Massalimov I.A., Shaynurova A.R., Khusainov A.N., Mustafin A.G. Production of sulfur nanoparticles from an aqueous solution of potassium polysulfide. Journal of Applied Chemistry, 2012, Vol. 85, №11, p. 1944–1949. (In Russian).
- 8. Massalimov I.A., Khusainov A.N., Zainitdinova R.M., Musavirova L.R., Zaripova L.R., Mustafin A.G. Chemical sedimentation of sulfur nanoparticles. Journal of Applied Chemistry. 2014, Vol. 87, № 6, p. 705–713. (In Russian).
- 9. Massalimov I.A., Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Urakaev F.H., Uralbekov B.M., Burkitbaev M.M. Hydrophobization of dense and fine concrete by polysulfide solutions. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 5, pp. 85–99. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-85452016-8-5-85-99. (In Russian).
- 10. Chuikin A.E., Babkov V.V., Massalimov I.A. Modification of cement concrete with impregnating sulfur-containing solutions. Construction Materials Journal. 2016, № 10, p. 72–75. (In Russian).
- 11. Massalimov I.A., Chuykin A.E., Massalimov B.I., Urakaev F.H., Uralbekov B.M., Burkitbaev M.M. Improvement of operational properties of shell limestone building materials by polysulfide solution impregnation. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 3, pp. 66–80. DOI: dx.doi. org/10.15828/2075-8545-2017-9-3-66-80. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Баженов Ю.М., Калашников В.И., Демьянова В.С. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
- 2. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Физико- химическое бетоноведение. Пер. с англ. Под ред. Ратинова В.Б. М.: Стройиздат, 1986. 278 с.
 - 3. Покровский Н.С. Пропиточная гидроизоляция бетона. М.: Энергия, 1964. 112 с.
- 4. Пропиточные гидрофобизирующие композиции на основе водорастворимой серы // Мусавиров Р.С., Массалимов И.А., Бабков В.В., Чуйкин А.Е., Балобанов М.А., Шарабыров М.В // Строительные материалы. -2003. -№ 10. C. 25-27.
- 5. Protection of Building Constructions with Sulfur Impregnating Solution/ Massalimov I.A., Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E., Mustafin A.G/ Study of Civil Engineering and Architecture (SCEA) Volume 2, Issue 2, June 2013, p. 19–24.
- 6. Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Янахметов М.Р., Хусаинов А.Н., Мустафин А.Г. Способ обработки строительных материалов полисульфидными растворами: Евразийский патент № 024383. приоритет от 26.04.2014.
- 7. Массалимов И.А., Шайнурова А.Р., Хусаинов А.Н., Мустафин А.Г. Получение наночастиц серы из водного раствора полисульфида калия // Журнал прикладной химии. -2012.-T.85, № 11.-C.1944-1949.-DOI: 10.1134/S1070427212120075.
- 8. Массалимов И.А., Хусаинов А.Н., Зайнитдинова Р.М., Мусавирова Л.Р., Зарипова Л.Р., Мустафин А.Г. Химическое осаждение наночастиц серы // Журнал прикладной химии. -2014. Т.87, № 6. С. 705-713. DOI: 10.1134/ S1070427214060068.
- 9. Массалимов И.А., Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И., Уракаев Ф.Х., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М. Гидрофобизация плотного и мелкозернистого бетонов полисульфидными растворами // Нанотехнологии в строительстве. -2016. Том 8, № 5. С. 85-99. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-85-99.
- 10. Чуйкин А.Е., Бабков В.В., Массалимов И.А. Модифицирование цементного бетона пропиточными серосодержащими растворами // Строительные материалы. -2016. -№ 10. C. 72-75.
- 11. Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И., Уракаев Ф.Х., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М. Улучшение эксплуатационных свойств строительных материалов из известняка ракушечника пропиткой полисульфидными растворами // Нанотехнологии в строительстве. -2017. -T. 9, № 3. -C. 66-80. -DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-3-66-80.

http://nanobuild.ru 286 info@nanobuild.ru

2019; 11 (3): 276-287



APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS • ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ismail A. Massalimov, professor of Bashkir State University (BashSU); Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, ismail_mass@mail.ru;

Aleksandr E. Chuykin, docent, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, an2100@yandex.ru;

Burhan I. Massalimov, a graduate student, Physics Institute. P.N. Lebedev, Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia; burhan@mephist.ru;

Bulat S. Akhmetshin, Assistant, Bashkir State University Ufa, Bashkortostan Republic, Russia; akhbulat@mail.ru;

Farit H. Urakaev, Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy Science; Russia, Novosibirsk, urakaev@igm.nsc.ru;

Muhambetkali M. Burkitbaev, Vice Rector, Al-Farabi Kazakh National University; Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan; mukhambetkali.Burkitbayev@kaznu.kz

Akhat G. Mustafin, Head of Ufa Scientific Center, Ufa Bashkortostan Republic, Russia; agmustafin@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Масалимов Исмаил Александрович, профессор Башкирского государственного университета (БашГУ); Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ismail_mass@mail.ru;

Чуйкин Александр Евгеньевич, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Уфа, Республика Башкортостан, Россия, an2100@yandex.ru;

Массалимов Бурхан Исмаилович, аспирант Физического института им. П.Н. Лебедева, Российская академия наук; Москва, Россия; burhan@mephist.ru;

Ахметшин Булат Салаватович, ассистент Башкирского государственного университета Уфа, Республика Башкортостан, Россия; akhbulat@mail.ru;

Уракаев Фарит Хисамутдинович, старший научный сотрудник, В.С. Институт геологии и минералогии им. С.Л. Соболева РАН; Россия, Новосибирск, urakaev@igm.nsc.ru;

Буркитбаев Мухамбеткали Мырзабаевич, проректор КазНУ им. Аль-Фараби; Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; mukhambetkali.Burkitbayev@kaznu.kz

Мустафин Ахат Григорьевич, руководитель Уфимского научного центра, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, agmustafin@gmail.com

CONTACTS / KOHTAKTЫ

e-mail: ismail_mass@mail.ru





ISSN 2075-8545 (online)

The Electronic Edition

«NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» NANOBUILD.RU

Electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru was established in 2009. The main aim of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru is to provide information support for the process of invention and application of science intensive technologies (mostly nanotechnological products) in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).

Every issue of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» contains the information about advanced materials and technologies which are already in use or are about to appear at the market in the near future. That is of great interest for many specialists.

Therefore the authors and the edition's readers 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 area of construction and housing and communal services;
- scientists and specialists of the industries which are adjacent to construction;
- managers and experts of the enterprises that manufacture nanoindustrial products.

One of the important quality indicators for journal is its correspondence to international norms and as a result inclusion to international citation systems (data bases).

The electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» has been included in: CA(pt) (USA); DOAJ (Sweden); EBSCO Publishing (USA); ESCI Web of Science (USA); EZB (Germany); OAJI (USA); CrossRef (USA); ISSN 2075-8545 (online) (France); Readera (Russia); ResearchBib (Japan); ResearchGate (USA); Scientific Electronic Library (Russia); ProQuest (USA); Ulrich's Periodicals Directory (USA) et al.

Each paper is assigned UDC, DOI, HTML-code. The papers are published in English and Russian.

The editors follow the politics of «open access» for the published materials. To provide maximal access to materials all issues are published at the edition's website http://nanobuild.ru/en_EN/; the papers (information about them) is added to citation systems (data bases).

That allows scientists and specialists all over the world to study journal's materials and to use them in their work, which includes citation.

Distribution of the journal:

- 1. Every issue of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction» is published in free access at the website http://nanobuild.ru/en_EN/
- 2. The papers and/or the information about them are published in citation systems (databases): EBSCO Publishing (USA), ESCI Web of Science (USA), ResearchBib (Япония), CrossRef (USA), Scientific Electronic Library (Russia), DOAJ (Sweden) etc.
- 3. The information about new issue which can be viewed and downloaded is sent to companies, research and nanotechnology centers, authors, scientists and specialists all over the world (in total 5000 addresses).
- 4. Information about published issue is placed at the partners' internet-sources: http://daaam.info; http://www.rilem.org, http://ama.com.az, http://isit.si/activities/events-news, http://info-iae.ru, http://www.nanonewsnet.ru, http://www.rusnanonet.ru; http://www.rae-info.ru et al.

You can find all issues and requirements to the published materials on the official website http://nanobuild.ru/en_EN/.

If you have any questions, please contact us by e-mail: info@nanobuild.ru

We hope for effective and mutual beneficial cooperation.

The editors of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»







ISSN 2075-8545 (online)

Электронное издание

«НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ» NANOBUILD.RU

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» Nanobuild.ru было создано в 2009 году. Основной целью электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» Nanobuild.ru является информационное обеспечение процесса создания и внедрения наукоёмких технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

В каждом номере электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» публикуется информация о передовых материалах и технологиях, которые уже используются или должны появиться в ближайшее время, а это вызывает большой интерес у специалистов.

Поэтому 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;
- руководители и эксперты фирм-производителей продукции наноиндустрии.

Одним из важнейших показателей качества журнала является соответствие его международным нормам и, как следствие, включение в международные системы цитирования (базы данных).

Интернет-журнал «Нанотехнологии в строительстве» включен в Перечень ВАК РФ, системы цитирования (базы данных): СА(рt) (США); DOAJ (Швеция); EBSCO Publishing (США); ESCI Web of Science (США); EZB (Германия); ОАЈI (США); CrossRef (США); ISSN 2075-8545 (online) (Франция); Научная электронная библиотека (Россия); ResearchBib (Япония); Readera (Россия); ProQuest (США); ResearchGate (США); Ulrich's Periodicals Directory (США) и другие.

Каждой научной статье присваиваются УДК, DOI, а также HTML-код. Статьи издаются на русском и английском языках.

Редакция издания придерживается политики «открытого доступа» к публикуемым материалам. В целях максимальной доступности материалов все номера размещены на сайте издания http://Nanobuild.ru; статьи (информация о них) размещается в системах цитирования (базах данных).

Это позволяет ученым и специалистам во всем мире свободно знакомиться с материалами журнала и использовать их в своей деятельности, в т.ч. цитировать в своих статьях.

Распространение журнала:

- 1. Каждый выпуск электронного издания «Нанотехнологии в строительстве» размещается в открытом доступе на портале http://nanobuild.ru.
- 2. Статьи и/или информация о них размещаются в системах цитирования (базах данных): EBSCO Publishing (США), ESCI Web of Science (США), ResearchBib (Япония), CrossRef (США), Научная электронная библиотека (Россия), DOAJ (Швеция), Readera (Россия) и др.
- 3. Информация о каждом новом номере журнала, с возможностью ознакомиться (скачать) номер, высылается в компании, научно-исследовательские и нанотехнологические центры, авторам, ученым и специалистам по всему миру (всего 5000 адресов).
- 4. Информация о вышедшем номере размещается на интернет-ресурсах партнеров: http://daaam.info, http://ama.com.az, http://isit.si/activities/events-news, http://info-iae.ru, http://www.nanonewsnet.ru, http://www.rusnanonet.ru, http://www.info-rae.ru и др.

Тематика статей, а также требования к публикуемым материалам приведены в каждом номере журнала и на сайте http://nanobuild.ru.

По всем вопросам просим обращаться по e-mail: info@ nanobuild.ru

Надеемся на плодотворное и взаимовыгодное сотрудничество.

Редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал»



2019; 11 (3): 292-303



REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS • ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303

UDC 608; 69.001.5

The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part III

Authors:

Leonid A. Ivanov,

Vice President, the International Academy of Engineering, Moscow, Russian Federation, L.a.ivanov@mail.ru;

Petr S. Prokopiev,

Student, Financial University Under the Government of the Russian Federation, International Economic Relations Faculty, e-mail: prokopiev2012@gmail.com

Abstract: A brief review of patents is given. The research performed by scientists, engineers and specialists in the area of nanotechnologies and nanomaterials resulted in increased efficiency of construction, housing sector and adjacent fields of economy. For example, the invention «Construction structural element» refers to the field of construction. The building element is made of a cured mixture containing the following components, wt. %: dispersed foamglass – 60–85; 25–30% alumina solution in phosphoric acid – 13–34; basalt microfiber – 2–6; fulleroid type carbon toroid-like nanoparticles (fractions from 15 to 150 nm) – 0.009–0005. The dispersed foamglass is made in the form of foamed glass beads, on the surface of which a layer of polyparaxilylene 2–5 microns thick is applied. The mixture is cured at a temperature of 160–180°C. The technical result is increased strength, toughness, crack resistance and durability at low density, that is important when building objects, for example, to create internal walls and cellular partitions in rooms.

The specialists can also be interested in the following inventions in the area of nanotechnologies: composite reinforcement, a method of manufacturing composite powder material from alumina carbon nanotubes; the method of plasma deposition of nanostructured heat-shielding coating; the method of degassing tungsten nanopowder; method to produce mixtures of highly dispersed heterophase powders based on boron carbide, etc.

Keywords: nanotechnologies in construction, carbon nanotubes, nanocomposite material, nanoparticles, nanostructured coating, nano- and microparticles, nanocrystalline coating.

For citation: Ivanov LA., Prokopiev P.S. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part III. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303.

${\it Machine-readable\ information\ on\ CC-licenses\ (HTML-code)\ in\ metadata\ of\ the\ paper}$

 dat="Creative Commons License" style="border-width:0" src="https://i.creativecommons.org/l/by/4.0/88x31.png"/> cbr />The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part Ill by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Invention (Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Invention (Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Invention (Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Invention (Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Invention (Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Invention (Vol. 11, no.3, pp. 292–303. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-292-303" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL" long the sum of the s

The paper has been received by editors: 10.04.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 07.05.2019.

The paper has been accepted for publication: 17.05.2019.

2019; 11 (3): 292-303



REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS • ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть III

Авторы:

Иванов Леонид Алексеевич,

вице-президент, Международная инженерная академия, г. Москва, Россия, L.a.ivanov@mail.ru

Прокопьев Пётр Сергеевич,

студент факультета международных экономических отношений Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, prokopiev2012@gmail.com

Резюме: В реферативной форме проводится обзор изобретений. Результаты творческой деятельности ученых, инженеров и специалистов, в т.ч. и изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов, позволяют в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, смежных отраслях экономики добиться значительного эффекта. Например, изобретение «Строительный конструкционный элемент» относится к области строительства. Строительный элемент выполнен из отвержденной смеси, содержащей следующие компоненты, мас. %: дисперсное пеностекло − 60−85; 25−30%-ный раствор оксида алюминия в ортофосфорной кислоте − 13−34; базальтовая микрофибра − 2−6; углеродные тороподобные наночастицы фуллероидного типа (фракции от 15 до 150 нм) − 0,009−0005. Дисперсное пеностекло выполнено в виде вспененных стеклошариков, на поверхность которых нанесен слой полипараксилилена толщиной 2−5 мкм. Отверждение смеси производят при температуре 160−180°С. Технический результат заключается в повышении прочности, ударной вязкости, трещиностойкости и долговечности при малой плотности издедий, что важно при строительстве объектов, например, для создания внутренних стен и сотовых перегородок в помещениях.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: арматура композитная; способ изготовления композитного порошкового материала из алюмооксидных углеродных нанотрубок; способ плазменного нанесения наноструктурированного теплозащитного покрытия; способ дегазации нанопорошка вольфрама; способ получения смесей высокодисперсных гетерофазных порошков на основе карбида бора и др.

Ключевые слова: нанотехнологии в строительстве, углеродные нанотрубки, нанокомпозитный материал, наночастицы, наноструктурированное покрытие, нано- и микрочастицы, нанокристаллическое покрытие.

Для цитирования: 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.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

<abr/><abr/>iricenses/by/4.0/"><a><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><a><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><abr/><a

Статья поступила в редакцию: 10.04.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 07.05.2019.

Статья принята к публикации: 17.05.2019.



INTRODUCTION

The practical application of the results achieved by scientists, engineers and specialists can become efficient tool to increase number of import-substituting goods and to rise labor productivity. An invention is known to be a new, with distinctive characteristics technical solution with proved efficiency (new technologies, structures or new substances). The paper reviews the essence, technical result and practical value of some inventions concerning nanotechnologies.

MAIN PART

Construction structural element (RU 2683836 C1)

The problem solved through the invention is the creation of a building structural element of arbitrary shape with enhanced performance characteristics, in particular, with increased strength, toughness, crack resistance and durability with relatively low specific density, which is important, for example, to create internal walls and cellular partitions [1].

The problem is solved, and the required technical result is achieved by the fact that the construction structural element is made of cured mixture with dispersed foam glass. According to the invention, the mixture contains additional components that are mixed with dispersed foam glass before curing as part of a concentrated solution of aluminum oxide in phosphoric acid, basalt microfiber and carbon toropodobny nanoparticles with the following mass ratio. %:

- dispersed foamglass -60-85;
- -25-30% alumina solution in phosphoric acid -13-34;
- basalt microfiber (fraction 80-600 microns) -2-6;
- carbon toropodobnye nanoparticles of the fulleroid type (fraction from 15 to 150 nm) – 0.009–0,0005.

The mixture is cured at a temperature of 140–180°C, and before mixing additional components with dispersed foam glass made in the form of foamed glass beads, a layer of 2–5 microns of a chemically resistant polymer (polyparaxilylene) which thick is 2–5 microns is applied to them from the gas phase.

Composite reinforcement (RU 2684271 C1)

The invention provides an effective consumption of nanocomposite in dependence on the diameter of the produced reinforcement, thus providing the possibility of obtaining reinforcement with a modulus of elasticity of the order of Ep = 200000 MPa with reduced consumption of nanomaterial [2].

The composite reinforcement contains a carrier core of basalt or glass roving and high modulus fibers impreg-

nated with a binder that consists of epoxy resin, hardener, plasticizer with the addition of carbon nanocomposite containing multilayer carbon nanotubes in an amount of at least 45–50% of its mass formed by pyrolysis sphagnum brown with mechanical activation of pyrolysis products for at least 8 hours. The content of carbon nanocomposite in% of the volume of epoxy resin depends on the diameter of the supporting rod. When the diameter of the supporting rod is 6 mm, the content of the carbon nanocomposite is 0.3-0.4%; when the diameter of the supporting rod is 8 mm, the content of the carbon nanocomposite is 0.4–0.5%; when the diameter of the supporting rod is 10 mm, the content of carbon nanocomposite is 0, 5-0.6%, when the diameter of the supporting rod is 12 mm, the content of the carbon nanocomposite is 0.6-0.7%, and when the diameter of the supporting rod is 14 mm, the content of the carbon nanocomposite is 0.7-0.8%, when the diameter of the supporting rod is 16 mm content of carbon nanocomposite is 0.8–0.9%; moreover, when the diameter of the supporting rod is equal to and greater than 20 mm, the content of the carbon nanocomposite is 1.00%.

A method of manufacturing composite powder material from alumina carbon nanotubes (RU 2683323 C1)

The purpose of the invention is to provide a method of manufacturing composite powdered material in the form of alumina carbon tubes. In the course of the method a carbon nanotube is placed on the surface of a ceramic alumina powder. That results in generating nickel, iron, cobalt and other metallic nanoparticles (catalysts) on the surface of an alumina ceramic powder by splitting the organometallic precursor. Due to this carbon in the organometallic precursor and carbon carbon gases, for example, methane, is cleaved and catalyzed to generate a carbon nanotube, and the length, diameter, and microstructure of the carbon nanotube are controlled by changing several factors, including the feed volume, the speed of rotation, and the reaction temperature, which shortens the production period and reduces costs, because the subsequent stage of the carbon nanotube production is lowered, and also improves the dispersion uniformity and efficiency of the carbon nanotube [3].

Moreover, since the carbon nanotube has the characteristics of a one-dimensional nanostructure, the ratio of length to diameter is large. At the same time, due to the large van der Waals force and a large specific area between carbon nanotubes, such a tube can easily exist as a complex filler. The method of obtaining and distributing carbon nanotubes in alumina powder can be a key factor in achieving high performance of a carbon nanotube.

2019; 11 (3): 292-303



REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS • ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

The method of plasma application of nanostructured heat-shielding coating (RU 2683177 C)

The invention relates to a method for the plasma application of nanostructured heat shield [4]. At first a conical nozzle is installed on the section of the supersonic plasma torch nozzle, the inner surface of which forms a fracture with the inner surface of the nozzle, which allows the plasma pressure with the sprayed substance in the wall part of the nozzle to be set equal to the pressure in the vacuum chamber after the fracture. The plasma torch and the substrate is installed in the chamber with reduced pressure. A dynamic vacuum is maintained in the chamber, the plasma-forming gas and powder of the sprayed substance are fed into the plasma torch and the substance is sprayed with a supersonic plasma flow with the formation of molten particles of micron level and vapor phase of the sprayed substance. Then, nanoparticles formed in the wall part of the nozzle and particles of micron level of the sprayed substance are deposited onto the substrate. The substrate is moved in such a way that the layers of nanoparticles and particles of micron level of the sprayed substance overlap each other.

The technical result achieved by the claimed method consists in simultaneously increasing the adhesive and cohesive strength of the coating, increasing its heat resistance when using the entire sprayed material falling on the substrate in the form of particles of micron level and in the form of nanoparticles.

The method of forming multilayer coating on particles and device for its implementation (RU 2683115 C1)

The group of inventions relates to the field of chemistry, in particular to equipment for chemical or physical laboratories and the method of their use, and can be used to form multi-layer composite coatings on submicro- or microparticles by the layer-by-layer adsorption method [15]. The method of forming a multilayer coating on particles consists of following stages: alternate application of layers of nanomaterial on submicro or microparticles, washing the particles after each layer is applied in the working module, which has two channels separated by a filtration membrane, by supplying a stream of particles with a deposited layer of nanomaterial to one of the channels and flushing fluid – to another channel. The first application is carried out by feeding into one of the channels of the nanomaterial, and in the other – the flow of submicro- or microparticles. Each subsequent application after washing is carried out by feeding submicro- or microparticles with a deposited layer of nanomaterial into one of the channels, and a flow of nanomaterial into the other channel. The application and washing is carried out at the same pressure and speed. The streams of particles and nanomaterial are fed parallel to the surface of the filtration membrane, which is permeable for the molecules of the nanomaterial and impermeable for submicro or microparticles.

The technical result of these inventions is increased efficiency of the process of forming multilayer coating on particles by the method of layer-by-layer adsorption due to the implementation of the flow-through deposition process while expanding the spectrum of nanomaterials used and preserving automation.

The method of obtaining mixtures of highly dispersed heterophase powders based on boron carbide (RU 2683107 C1)

The invention relates to ceramic technology and powder metallurgy and is intended to produce highly dispersed heterophase powder compositions that can be used for the production of ceramic armor elements and materials operating under conditions of abrasive wear, products used in mechanical engineering, energy and chemical technologies in aerospace engineering. The required powders are obtained by reducing a mixture of oxides of boron, silicon and/or d-metal with highly dispersed carbon (soot) in a vacuum or in a protective gaseous medium at temperatures of 1500–1800°C. Powders of boric acid, boric anhydride, silicon oxide, and transition d-metal oxide of the secondary group IV–VI of the Periodic Table of the Elements [6] can be used as basic substances.

To ensure uniform distribution of components and high dispersion of mixtures, the initial oxygen-containing substances are pre-homogenized by melting them together in air with the subsequent formation of precursors in the glass-crystalline state containing oxide components necessary for the synthesis, which are uniformly distributed at the atomic-ionic level directly in the glass-ceramic precursor. This homogenization prevents the formation of agglomerates of particles of one of the components by shielding the particles of the synthesized components from each other, which increases the diffusion path of the atoms and complicates the process of secondary recrystallization, which results in highly dispersed synthesis products.

The method of obtaining composite lithium orthovanadate / carbon (RU 2683094 C1)

The invention relates to a method for producing composites in a finely dispersed state, in particular, the lithium orthovanadate / carbon Li3VO4 / C composite, which can be used as an effective anode material of chemical current sources [7]. The research problem is solved in the proposed method of obtaining a composite lithium orthovanadate / carbon composition Li3VO4/C, including hydrothermal treatment of the re-



action mixture containing vanadium compound, lithium compound and glucose, followed by filtration, washing, drying and annealing in an inert atmosphere, in which ammonium metavanadate is used in vanadium, lithium hydroxide monohydrate is used as a lithium compound, and the molar ratio of the components of ammonium metavanadate: monohydrate is lithium hydroxide: glucose is 1:3:0.5÷2, and the hydrothermal treatment is carried out with microwave radiation of 17–19 W with constant stirring at a speed of 100–300 rpm at a temperature of 160–220°C and a pressure of 10–15 bar for 5–20 min, and the annealing is carried out at a temperature of 500–650°C for 1–2 hours.

Conditions of microwave processing with continuous stirring promotes the homogenization of the final product. This approach to the implementation of the process of obtaining a composite Li3VO4 / C ensures the reliability of the uniform distribution of the carbon component of the composite. Homogeneous dispersion of carbon in the composite prevents aggregation of the particles of the final product, which ultimately increases the stability of various devices made on the basis of the lithium orthovanadate / carbon composite as a material.

Low-temperature plastic lubricant (RU 2682881 C1)

The invention relates to the creation of low-temperature lubricant, which can be used in mechanisms for various purposes, operating at temperatures from minus 60°C. Essence: low-temperature lubricant contains, mass %: thickener 11.0–15.0, antioxidant amine and / or phenolic type 0.3–0.5, nanostructured functional additive — nanosized particles of halloysite or montmorillonite 0.5–5.0, an additive with anti-wear and / or anti-scuff properties of 0.0–3.0, a corrosion inhibitor 0.0–2.0, base oil — the rest, up to 100. Moreover, when forming a lubricant, the specified nanostructured functional additive is used as a pre-mechanically dispersed in base oil, and after mixing with the other components is thermomechanically dispersed in a mixture of these components [8].

If necessary, calculated amounts of additives (antiwear and / or extreme pressure, corrosion inhibitor) are added to the cooled lubricant, and then they are subjected to mechanical processing (in particular, homogenization, filtration, deaeration). Thus, the nanostructured functional additive is thermomechanically dispersed in the mixture of these components. It is assumed that the introduction of nanoscale particles into the composition prior to the stage of thermomechanical dispersion has a significant influence on the formation of the dispersed phase due to their incorporation into the structural framework of the thickener used. This process of modifying the structural frame has a positive effect on the tribological characteristics of the lubricant.

Effective spin-photon interaction when using a waveguide symmetric in the glide plane (RU 2682559 C2)

The group of inventions relates to optical devices containing a waveguide for reading quantum emitters. The optical device contains a planar waveguide and a quantum emitter. The planar waveguide comprises a longitudinally extending guide region with a first side and a second side. The first nanostructure is located on the first side of the guide region. The second nanostructure is located on the second side of the guide region. A planar waveguide includes a longitudinal region, where the first nanostructure and the second nanostructure are located essentially symmetrically in the slip plane relative to the guide region of the planar waveguide [9].

The quantum emitter is connected with the first longitudinal region of the planar waveguide. The quantum emitter is embedded in the guide region of the planar waveguide so that the emitter is a single photon emitter and emits photons in a circularly polarized mode. The longitudinal region of the planar waveguide supports the modes when the electric fields are circularly polarized in the plane of the planar waveguide in the position of the quantum emitter. Thus, photons from a single photon emitter are effectively introduced into a planar waveguide. The technical result consists in obtaining a waveguide, which ensures efficient reading of quantum emitters on a crystal, having dipole moments of transitions with circular polarization.

Method of degassing tungsten nanopowder (RU 2681962 C1)

The invention relates to the field of powder metallurgy, in particular to the purification of tungsten nanopowder. It can be used to remove sorbed gases and water from the surface and from the volume of the powder during its preparation for further use in the process. The degassing is carried out by irradiating the sample with microwave radiation in an atmosphere of air with pulses of duration from 5 to 3000 ns, a wavelength of 10 cm, a pulse repetition rate of not more than 50 Hz for at least 1 minute. The degassing of chemical compounds absorbed by the powder is provided [10].

The proposed method allows solving the technical problem of degassing molecules of chemical compounds sorbed by tungsten nanopowder (H₂O, CO₂, O₂, etc.), as well as in the prototype, involves irradiating the sample with electromagnetic radiation to ensure desorption of sorbed chemical compounds.

The method provides degassing of tungsten nanopowder by desorption of 4.2 wt.% of chemical compounds contained in the untreated tungsten nanopowder due to rapid short-term heating of tungsten nanoparticles by pulsed microwave radiation.



These are inventions in nanotechnological area that can be interesting for specialists:

- A method to produce nanoporous polymers [11].
- Technology for recycling valuable components of municipal solid waste [12].
- Wastewater treatment from heavy metal ions using nanoactivated complexes of natural zeolite and diatomite [13].
- Detonation nanodiamond surface functionalization method [14].
- Heat-shielding nanocomposite coating and method of its formation [15].
- A method to introduce single-wall and/or two-wall and/or multi-wall carbon nanotubes in composition of adhesive additives for asphalt coating and application of single-wall and/or two-wall and/or multi-wall carbon nanotubes in composition of adhesive additives [16].
- Natural gas storage method using adsorption in industrial gas cylinders [17].
- Method for the production of rubber ionomers and polymer nanocomposites [18].

- Device and method for production of powder materials based on nano- and microparticles through electric explosion of wire [19].
- Energy-saving technologies in the power supply of smart buildings with artificial intelligence [20].
- New regional models of economic development [21].
- Integration processes in energy markets [22].

CONCLUSION

It is known that it is **popularization and introduction of inventions** that is an important factor for the success of many successful companies. For example, General Electric, which entered world history as one of the most innovative companies of the 20th century, is a company that was originally listed in the Dow Jones index in 1896 and is still there. Therefore, we hope that the information published in this section will be useful for specialists. The high demand for the articles from the «Invention Review» column is proved by the number of views of materials, for example, in the full-text database of open access scientific journals Open Academic Journals Index OAJI (USA), link — http://oaji.net/journal-detail.html? number = 6931.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях использование изобретений ученых, инженеров и специалистов может способствовать эффективному решению задач импортозамещения и повышения производительности труда. Как известно, изобретение — это новое, обладающее существенными отличиями решение технической задачи, обеспечивающее положительный эффект (новые технологии, конструкции, новые вещества). В статье рассмотрены сущность, технический результат, практическая значимость некоторых изобретений, относящихся к области нанотехнологий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Строительный конструкционный элемент (RU 2683836 C1)

Задачей, решаемой в изобретении, является создание строительного конструкционного элемента произвольной формы с повышенными эксплуатационными характеристиками, в частности, с повышенной прочностью, ударной вязкостью, трещиностойкостью и долговечностью при относительно малой удельной плотности, что важно, например,

для создания внутренних стен и сотовых перегородок в помещениях [1].

Поставленная задача решается, а требуемый технический результат достигается тем, что строительный конструкционный элемент выполнен из отвержденной смеси, содержащей дисперсное пеностекло. Согласно изобретению, смесь содержит дополнительные компоненты, которые смешивают с дисперсным пеностеклом перед отверждением в составе концентрированного раствора оксида алюминия в ортофосфорной кислоте, базальтовой микрофибре и углеродных тороподобных наночастицах при следующем соотношении масс. %:

- дисперсное пеностекло -60-85;
- 25–30%-й раствор оксида алюминия в ортофосфорной кислоте 13–34;
- базальтовая микрофибра (фракция 80–600 мкм) –
 2–6;
- углеродные тороподобные наночастицы фуллероидного типа (фракции от 15 до 150 нм) — 0,009— 0,0005.

Отверждение смеси производят при температуре 140—180°С, а перед смешиванием дополнительных компонентов с дисперсным пеностеклом, выполненным в виде вспененных стеклошариков, из газовой фазы на них наносят слой толщиной 2—5 мкм



химически стойкого полимера (полипараксилилена) толшиной 2—5 мкм.

Арматура композитная (RU 2684271 C1)

Изобретение обеспечивает эффективный расход нанокомпозита в зависимости от диаметра производимой арматуры, при этом обеспечивается возможность получения арматуры с модулем упругости порядка $E_{\rm p} = 200000~{\rm M}\Pi {\rm a}$ при пониженном расходе наноматериала [2].

Арматура композитная содержит несущий стержень из базальтового или стеклянного ровинга и высокомодульные волокна, пропитанные связующим, включающим эпоксидно-диановую смолу, отвердитель, пластификатор с добавкой углеродного нанокомпозита, содержащего многослойные углеродные нанотрубки в количестве не менее 45-50% от его массы, сформированного пиролизом сфагнума бурого с механоактивацией продуктов пиролиза в течение не менее 8 часов. Содержание углеродного нанокомпозита в % от объема эпоксидно-диановой смолы зависит от диаметра несущего стержня. При диаметре несущего стержня 6 мм содержание углеродного нанокомпозита составляет 0,3-0,4%, при диаметре несущего стержня 8 мм содержание углеродного нанокомпозита составляет 0,4–0,5%, при диаметре несущего стержня 10 мм содержание углеродного нанокомпозита составляет 0,5–0,6%, при диаметре несущего стержня 12 мм содержание углеродного нанокомпозита составляет 0,6–0,7%, при диаметре несущего стержня 14 мм содержание углеродного нанокомпозита составляет 0,7-0,8%, при диаметре несущего стержня 16 мм содержание углеродного нанокомпозита составляет 0,8–0,9%, причем при диаметре несущего стержня, равном и превышающем 20 мм, содержание углеродного нанокомпозита составляет 1,00%.

Способ изготовления композитного порошкового материала из алюмооксидных углеродных нанотрубок (RU 2683323 C1)

Цель изобретения — предоставление метода получения композитного порошкообразного материала в виде алюмооксидных углеродных трубок, представляющего собой метод помещения углеродной нанотрубки на поверхность керамического порошка оксида алюминия, вследствие чего на поверхности керамического порошка из оксида алюминия генерируются никель, железо, кобальт и другие металлические наночастицы (катализаторы) посредством расщепления органометаллического прекурсора, вследствие чего углерод в органометаллическом прекурсоре и углеродсодержащих газах, например,

метане, расщепляется и катализируется для генерирования углеродной нанотрубки, и длина, диаметр и микроструктура углеродной нанотрубки контролируются посредством изменения нескольких факторов, включая объем подачи сырья, скорость вращения и температуру реакции, что сокращает период получения и снижает затраты, так как последующий этап получения углеродной нанотрубки опускается, а также улучшает однородность дисперсии и эффективность углеродной нанотрубки [3].

При этом ввиду того, что углеродная нанотрубка имеет характеристики одномерной наноструктуры, отношение длины к диаметру велико. В то же время, ввиду большой силы Ван-дер-Ваальса и обширной удельной площади между углеродными нанотрубками, такая трубка легко может существовать в виде сложного наполнителя. Способ получения и распределения углеродных нанотрубок в алюмооксидном порошке может стать ключевым фактором достижения высокой производительности углеродной нанотрубки.

Способ плазменного нанесения наноструктурированного теплозащитного покрытия (RU 2683177 C)

Изобретение относится к способу плазменного нанесения наноструктурированного теплозащитного покрытия [4]. Предварительно на срезе сверхзвукового сопла плазмотрона устанавливают конический насадок, внутренняя поверхность которого образует с внутренней поверхностью сопла излом, что позволяет после излома установить давление плазмы с напыляемым веществом в пристеночной части насадка, равным давлению в вакуумной камере. Плазмотрон и подложку устанавливают в камеру с пониженным давлением. Осуществляют поддержание динамического вакуума в камере, подачу плазмообразующего газа и порошка напыляемого вещества в плазмотрон и распыление вещества сверхзвуковым потоком плазмы с образованием расплавленных частиц микронного уровня и паровой фазы напыляемого вещества. Затем обеспечивают выпадение на подложку наночастиц, образующихся в пристеночной части насадка, и частиц микронного уровня напыляемого вещества. Подложку перемещают таким образом, чтобы слои из наночастиц и частиц микронного уровня напыляемого вещества перекрывали друг друга.

Технический результат, достигаемый заявленным способом, состоит в одновременном повышении адгезионной и когезионной прочности покрытия, увеличении его теплостойкости, при использовании всего напыляемого материала, выпадающего на подложку в виде частиц микронного уровня и в виде наночастиц.



Способ формирования многослойного покрытия на частицах и устройство для его реализации (RU 2683115 C1)

Группа изобретений относится к области химии, в частности к оборудованию для химических или физических лабораторий и способу их применения, и может быть использована для формирования многослойных композитных покрытий на субмикро- или микрочастицах методом послойной адсорбции [15]. Способ формирования многослойного покрытия на частицах заключается в поочередном нанесении слоев наноматериала на субмикро- или микрочастицы, промывке частиц после каждого нанесения слоя в рабочем модуле, имеющем два канала, разделенных фильтрационной мембраной, путем подачи в один из каналов потока частиц с нанесенным слоем наноматериала, а в другой - промывочной жидкости. Первое нанесение осуществляют путем подачи в один из каналов наноматериала, а в другой - потока субмикро- или микрочастиц. Каждое последующее нанесение после промывки осуществляют путем подачи в один из каналов потока субмикроили микрочастиц с нанесенным слоем наноматериала, а в другой – потока наноматериала. Нанесение и промывку осуществляют при одинаковом давлении и скорости. Потоки частиц и наноматериала подают параллельно поверхности фильтрационной мембраны, выполненной проницаемой для молекул наноматериала и непроницаемой для субмикро- или

Техническим результатом группы изобретений является повышение эффективности процесса формирования многослойного покрытия на частицах методом послойной адсорбции за счет реализации проточного процесса нанесения при расширении спектра используемых наноматериалов и сохранении автоматизации.

Способ получения смесей высокодисперсных гетерофазных порошков на основе карбида бора (RU 2683107 C1)

Изобретение относится к керамической технологии и порошковой металлургии и предназначено для получения высокодисперсных гетерофазных порошковых композиций, которые могут быть использованы для производства керамических бронеэлементов, материалов, работающих в условиях абразивного износа изделий, применяемых в машиностроении, в энергетических и химических технологиях, в аэрокосмической технике. Требуемые порошки получают путем восстановления смеси оксидов бора, кремния и/или d-металла высокодисперсным углеродом (сажей) в вакууме или в защитной газовой среде при

температурах 1500—1800°С. В качестве исходных веществ могут быть использованы порошки борной кислоты, борного ангидрида, оксида кремния, оксида переходного d-металла побочной подгруппы IV—VI групп Периодической системы элементов [6].

Для обеспечения однородности распределения компонентов и высокой дисперсности смесей исходные кислородсодержащие вещества предварительно гомогенизируют путем их совместного плавления в воздушной среде с последующим образованием прекурсоров в стеклокристаллическом состоянии, содержащих необходимые для синтеза оксидные компоненты, равномерно распределенные на атомно-ионном уровне непосредственно в структуре стеклокристаллического прекурсора. Указанная гомогенизация препятствует образованию агломератов частиц одного из компонентов за счет экранирования частиц синтезируемых компонентов друг от друга, которое увеличивает диффузионный путь одноименных атомов и затрудняет процесс вторичной рекристаллизации, что приводит к получению высокодисперсных продуктов синтеза.

Способ получения композита ортованадат лития/ углерод (RU 2683094 C1)

Изобретение относится к способу получения композитов в мелкодисперсном состоянии, в частности, композита ортованадат лития/углерод Li3VO4/C, который может быть использован в качестве эффективного анодного материала химических источников тока [7]. Поставленная задача исследования решена в предлагаемом способе получения композита ортованадат лития/углерод состава Li3VO4/C, включающем гидротермальную обработку реакционной смеси, содержащей соединение ванадия, соединение лития и глюкозу с последующим фильтрованием, промывкой, сушкой и отжигом в инертной атмосфере, в котором в качестве соединения ванадия используют метаванадат аммония, в качестве соединения лития используют моногидрат гидроксида лития, при этом молярное соотношение компонентов смеси метаванадат аммония : моногидрат гидроксида лития : глюкоза составляет 1:3:0.5÷2, а гидротермальную обработку осуществляют микроволновым излучением мощностью 17–19 Вт при постоянном перемешивании со скоростью 100—300 об/мин при температуре 160—220°C и давлении 10–15 бар в течение 5–20 мин, а отжиг ведут при температуре 500-650°С в течение 1-2 ч.

Условия микроволновой обработки при непрерывном перемешивании способствует гомогенизации конечного продукта. Такой подход к осуществлению процесса получения композита Li3VO4/C обеспечивает надежность равномерного распределения углеродной составляющей композита. Гомоген-



ное диспергирование углерода в композите предотвращает агрегацию частиц конечного продукта, что в конечном итоге повышает стабильность работы различных устройств, изготовленных на основе композита ортованадат лития/углерод как материала.

Низкотемпературная пластичная смазка (RU 2682881 C1)

Изобретение относится к созданию низкотемпературной пластичной смазки, которая может быть использована в механизмах различного назначения, работающих при температуре от минус 60°С. Сущность: низкотемпературная пластичная смазка содержит, мас.%: загуститель 11,0-15,0, антиокислитель аминного и/или фенольного типа 0,3–0,5, наноструктурированную функциональную добавку – наноразмерные частицы галлуазита или монтмориллонита 0,5-5,0, присадку с противоизносными и/или противозадирными свойствами 0,0-3,0, ингибитор коррозии 0,0-2,0, базовое масло – остальное, до 100. Причем при формировании смазки указанную наноструктурированную функциональную добавку используют в виде предварительно механически диспергированной в базовом масле, а после смешения с остальными компонентами - термомеханически диспергированной в смеси указанных компонентов [8].

В охлажденную смазку при необходимости добавляют расчетные количества присадок (противоизносной и/или противозадирной, ингибитора коррозии), после чего подвергают механической обработке (в частности, гомогенизации, фильтрации, деаэрации). Таким образом, наноструктурированная функциональная добавка термомеханически диспергирована в смеси указанных компонентов. Предполагается, что введение наноразмерных частиц в состав до стадии термомеханического диспергирования оказывает значительное влияние на формирование дисперсной фазы за счет их внедрения в структурный каркас используемого загустителя. Указанный процесс модификации структурного каркаса оказывает положительное влияние на трибологические характеристики пластичной смазки.

Эффективное спин-фотонное взаимодействие при использовании симметричного в плоскости скольжения волновода (RU 2682559 C2)

Группа изобретений относится к оптическим устройствам, содержащим волновод для считывания квантовых излучателей. Оптическое устройство содержит планарный волновод и квантовый излучатель. Планарный волновод содержит простирающуюся в продольном направлении направляющую об-

ласть с первой стороной и второй стороной. На первой стороне направляющей области расположена первая наноструктура. На второй стороне направляющей области расположена вторая наноструктура. Планарный волновод включает в себя продольную область, где первая наноструктура и вторая наноструктура расположены по существу симметрично в плоскости скольжения относительно направляющей области планарного волновода [9].

Квантовый излучатель связан с первой продольной областью планарного волновода. Квантовый излучатель внедрен в направляющую область планарного волновода так, что излучатель является однофотонным излучателем и излучает фотоны в моде с круговой поляризацией. Продольная область планарного волновода поддерживает моды, когда электрические поля имеют круговую поляризацию в плоскости планарного волновода в положении квантового излучателя. Таким образом, фотоны из однофотонного излучателя эффективно вводятся в планарный волновод. Технический результат заключается в получении волновода, обеспечивающего эффективное считывание на кристалле квантовых излучателей, имеющих дипольные моменты переходов с круговой поляризацией.

Способ дегазации нанопорошка вольфрама (RU 2681962 C1)

Изобретение относится к области порошковой металлургии, в частности к очистке нанопорошка вольфрама. Может быть использовано для удаления сорбированных газов и воды с поверхности и из объема порошка при ее подготовке к дальнейшему использованию в технологическом процессе. Дегазацию осуществляют облучением образца СВЧ-излучением в атмосфере воздуха импульсами длительностью от 5 до 3000 нс, длиной волны 10 см, частотой следования импульсов не более 50 Гц в течение не менее 1 минуты. Обеспечивается дегазация абсорбированных порошком молекул химических соединений [10].

Предлагаемый способ позволяет решить техническую проблему дегазации сорбированных нанопорошком вольфрама молекул химических соединений (${\rm H_2O,\,CO_2,\,O_2}$ и др.), и так же, как в прототипе, включает облучение образца электромагнитным излучением для обеспечения десорбции сорбированных химических соединений.

Способ обеспечивает дегазацию нанопорошка вольфрама путем десорбции имеющихся в необработанном нанопорошке вольфрама 4,2 мас.% молекул химических соединений вследствие быстрого кратковременного нагревания наночастиц вольфрама импульсным СВЧ-излучением.



Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Способ получения нанопористых полимеров [11].
- Технология утилизации ценных компонентов твердых бытовых отходов [12].
- Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью наноактивированных комплексов природного цеолита и диатомита [13].
- Способ функционализации поверхности детонационных наноалмазов [14].
- Теплозащитное нанокомпозитное покрытие и способ его формирования [15].
- Способ введения одностенных и/или двустенных и/или многостенных углеродных нанотрубок в состав адгезионных добавок для асфальтового покрытия и применение одностенных и/или двустенных и/или многостенных углеродных нанотрубок в составе адгезионных добавок [16].
- Способ хранения природного газа при помощи адсорбции в промышленных газовых баллонах [17].
- Способ производства каучуковых иономеров и полимерных нанокомпозитов [18].
- Устройство и способ для получения порошковых материалов на основе нано- и микрочастиц путем электрического взрыва проволоки [19].

- Энергосберегающие технологии в электроснабжении умных зданий с использованием искусственного интеллекта [20].
- Новые региональные модели экономического развития [21].
- Интеграционные процессы на энергетических рынках [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что именно популяризация и внедрение изобретений являются важным фактором успеха многих преуспевающих компаний. Haпример, General Electric, которая вошла в мировую историю как одна из самых инновационных компаний 20 века, является компанией, которая изначально попала в список индекса Доу-Джонса в 1896 году и до сих пор там находится. Поэтому надеемся, что публикуемая в данной рубрике информация будет востребованной и полезной для специалистов. Подтверждением того, что статьи из рубрики «Обзор изобретений» пользуются особой популярностью, является информация о количествах просмотров материалов, наример, в полнотекстовой базе научных журналов открытого доступа Open Academic Journals Index OAJI (США), ссылка – http://oaji.net/journal-detail. html?number=6931.

REFERENCES

- 1. Ponomarev A.N., Seredokho V.A., Sofronov A.Yu. Construction structural element. RF Patent 2683836 C1. 2019. Bulletin № 10.
 - 2. Bekker A.T., Umansky A.M. Reinforcement composite. RF Patent 2683836 C1. 2019. Bulletin № 10.
- 3. Zhang D., Liu Y., Lee G., Su Y., Liang K., Wu Yu., Wu Yu. A method of manufacturing a composite powder material of alumina carbon nanotubes. RF Patent 2683323 C1. 2019. Bulletin №. 10.
- 4. Gubertov A.M., Polyansky M.N., Savushkina S.V., Chvanov V.K., Levochkin P.S., Sternin L.E. The method of plasma deposition of nanostructured heat-shielding coating. RF Patent 2683177 C1. 2019. Bulletin N 9.
- 5. German S.V., Gorin D.A., Sukhorukov G.B., Kozlova A.A., Severyukhina A.N. Method of forming multilayer coating on particles and a device for its implementation. RF Patent 2683115 C1. 2019. Bulletin № 9.
- 6. Kotsar T.V., Danilovich D.P., Zaitsev G.P., Ordanyan S.S. The method of obtaining mixtures of highly dispersed heterophase powders based on boron carbide. RF Patent 2683107 C1. 2019. Bulletin № 9.
- 7. Zakharova G.S., Dzhu Ts. The method of obtaining a composite lithium orthovanadate / carbon. RF Patent 2683094 C1. 2019. Bulletin № 9.
- 8. Kolybelsky D.S., Porfiryev Ya.V., Shuvalov S.A., Popov P.S., Zaichenko V.A. et al. Low-temperature lubricant. Patent 2682881 C1. 2019.
- 9. Mahmudian S., Sellner I.N., Stobbe S., Lodal P. Effective spin-photon interaction when using a waveguide symmetric in the glide plane. Patent 2683836 C2. 2019. Bulletin N 8.
- 10. Mostovshchikov A.V., Ilin A.P., Chumerin P.Yu., Igumnov V.S. Method of degassing tungsten nanopowder. RF Patent 2681962 C1. 2019. Bulletin № 8.
- 11. 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.
- 12. Shubov L.Ya., Borisova O.N. Disposal of valuable components of municipal solid waste. Housing and public utilities. 2013. No. 8. P. 59–64.

2019; 11 (3): 292-303



REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS • ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

- 13. Malkin P. Wastewater treatment from heavy metal ions using nanoactivated complexes of natural zeolite and diatomite. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 2, pp. 21–41. DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-2-21-41.
- 14. Koshcheev A.P., Perov A.A., Hatipov S.A. Detonation nanodiamond surface functionalization method. RF Patent 2676975 C2. 2019. Bulletin \mathbb{N}_2 2.
- 15. Ivanov L.A., Muminova S.R. Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1. Nanotechnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 1, pp. 88–106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.
- 16. Slavov I.A., Shvarzman D.I. A method of introduction of single-shell and/or double-shell and/or multi-shell carbon nanotubes in adhesive additive composition for asphalt coating and application of single-shell and/or double-shell and/or multi-shell carbon nanotubes as a part of adhesive additive composition. RF Patent 2675515 C1. 2018. Bulletin \mathbb{N}_2 35.
- 17. Ivanov L.A. Izobretenija uchenyh i inzhenerov, napravlennye na reshenie prakticheskih zadach [Scientific and engineering inventions designed to solve practical problems]. Innovacii i investicii [Innovations and investments]. 2017. № 5. pp. 164—167. (In Russian).
- 18. Ivanov L.A., Muminova S.R. New technical solutions in nanotechnology. Part 5. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 6, pp. 65–82. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-6-65-82.
- 19. Ivanov LA., Borisova O.N., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part I. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 1, pp. 91–101. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-91-101.
- 20. Schetinin E.Yu., Prokopiev P.S. Issledovanie jenergosberegajushhih tehnologij v jelektrosnabzhenii umnyh zdanij s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta [Assessment of energy-saving technologies in the power supply of smart buildings with artificial intelligence]. Finansovaja jekonomika [Financial Economy]. 2019. № 2. pp. 666–668. (In Russian).
- 21. Levin Yu.A., Pavlov A.O., Prokopiev P.S. Novaja model' razvitija Dal'nego Vostoka: izmenenie finansovoj arhitektury regiona [A new model for the development of the Far East: a change in the financial architecture of the region]. Innovacii i investicii [Innovations and Investments]. 2018. № 12. pp. 260–264. (In Russian).
- 22. Nikitin A.A., Dinets D.A., Prokopyev P.S. Finansovo-jekonomicheskie i geopoliticheskie perspektivy formirovanija obshhih rynkov jenergii EAJeS [Financial and economic and geopolitical prospects for the formation of common energy markets of the EAEU]. Innovacii i investicii [Innovations and investments]. 2019. № 3. pp. 71–75. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Пономарев А.Н., Середохо В.А., Софронов А.Ю. Строительный конструкционный элемент // Патент 2683836 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 10.
 - 2. Беккер А.Т., Уманский А.М. Арматура композитная // Патент 2683836 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 10.
- 3. Жанг Д., Лиу Ю., Ли Г., Су Й., Лианг К., Ву Ю., Ву Ю. Способ изготовления композитного порошкового материала из алюмооксидных углеродных нанотрубок // Патент 2683323 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 10.
- 4. Губертов А.М., Полянский М.Н., Савушкина С.В., Чванов В.К., Левочкин П.С., Стернин Л.Е. Способ плазменного нанесения наноструктурированного теплозащитного покрытия // Патент 2683177 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 9.
- 5. Герман С. В., Горин Д.А., Сухоруков Г.Б., Козлова А.А., Северюхина А.Н. Способ формирования многослойного покрытия на частицах и устройство для его реализации // Патент 2683115 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 9.
- 6. Коцарь Т.В., Данилович Д.П., Зайцев Г.П., Орданьян С.С. Способ получения смесей высокодисперсных гетерофазных порошков на основе карбида бора // Патент 2683107 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 9.
- 7. Захарова Г.С., Джу Ц. Способ получения композита ортованадат лития/углерод // Патент 2683094 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 9.
- 8. Колыбельский Д.С., Порфирьев Я.В., Шувалов С.А., Попов П.С., Зайченко В.А. и др. Низкотемпературная пластичная смазка // Патент 2682881 РФ МПК С1. 2019.
- 9. Махмудиан С., Селлнер И.Н., Стоббе С., Лодал П. Эффективное спин-фотонное взаимодействие при использовании симметричного в плоскости скольжения волновода // Патент 2683836 РФ МПК С2. 2019. Бюл. № 8.
- 10. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Чумерин П.Ю., Игумнов В.С. Способ дегазации нанопорошка вольфрама // Патент 2681962 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 8.
- 11. 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.
- 12. Шубов Л.Я., Борисова О.Н. Утилизация ценных компонентов твердых бытовых отходов // ЖКХ. -2013. № 8. С. 59-64.
- 13. Малкин П. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью наноактивированных комплексов природного цеолита и диатомита // Нанотехнологии в строительстве. -2018. Tom 10, № 2. C. 21-41. DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-2-21-41.
- 14. Кощеев А.П., Перов А.А., Хатипов С.А. Способ функционализации поверхности детонационных наноалмазов // Патент 2676975 РФ МПК С2. 2019. Бюл. № 2.
- 15. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. -2017. Том 9, № 1. С. 88-106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.

http://nanobuild.ru 302 info@nanobuild.ru

2019; 11 (3): 292-303



REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS • ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

- 16. Славов И.А., Шварцман Д.И. Способ введения одностенных и/или двустенных и/или многостенных углеродных нанотрубок в состав адгезионных добавок для асфальтового покрытия и применение одностенных и/или двустенных и/или многостенных углеродных нанотрубок в составе адгезионных добавок // Патент 2675515 РФ МПК С1. 2018. Бюл. № 35.
- 17. Иванов Л.А. Изобретения ученых и инженеров, направленные на решение практических задач // Инновации и инвестиции. Научно-аналитический журнал. -2017. -№ 5. C. 164-167.
- 18. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 5 // Нанотехнологии в строительстве. -2016. Том 8, № 6. С. 65-82. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-6-65-82.
- 19. Иванов Л.А., Борисова О.Н., Муминова С.Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть I// Нанотехнологии в строительстве. -2019. Том 11, № 1. С. 91-101. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-91-101.
- 20. Щетинин Е.Ю., Прокопьев П.С. Исследование энергосберегающих технологий в электроснабжении умных зданий с использованием искусственного интеллекта // Финансовая экономика. 2019. № 2. С. 666—668.
- 21. Левин Ю.А., Павлов А.О., Прокопьев П.С. Новая модель развития Дальнего Востока: изменение финансовой архитектуры региона // Инновации и инвестиции. -2018. -№ 12. C. 260-264.
- 22. Никитин А.А., Динец Д.А., Прокопьев П.С. Финансово-экономические и геополитические перспективы формирования общих рынков энергии ЕАЭС // Инновации и инвестиции. 2019. №3. С. 71—75.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leonid A. Ivanov, Ph.D. in Engineering, Vice President of the International Academy of Engineering, Member of the International Journalist Federation; Gazetny per., block 9, bld. 4, Moscow, Russian Federation, 125009, L.a.ivanov@mail.ru

Petr S. Prokopiev, Student, Financial University Under the Government of the Russian Federation, International Economic Relations Faculty, e-mail: prokopiev2012@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Леонид Алексеевич, канд. техн. наук, вице-президент Международной инженерной академии, член Международной федерации журналистов; Газетный пер., д. 9, стр. 4, г. Москва, Россия, 125009, L.a.ivanov@mail.ru

Прокопьев Пётр Сергеевич, студент факультета международных экономических отношений Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, e-mail: prokopiev2012@gmail.com

CONTACTS / KOHTAKTЫ e-mail: L.a.ivanov@mail.ru



About the international Tang Prize

The international Tang Prize was established in Taiwan in 2012. The Tang Prize is the highest scientific and social award for the outstanding contributions and achievements in the following nominations: «Sustainable development», «Biopharmaceutical Science», «Sinology», «Rule of law» and it keeps the traditions of such events as Olympic movement, Nobel Prize and other international rewards.



The founder of the Tang Prize is Doctor Samuel Yen-Liang Yin



The CEO of the Tang Prize Foundation is Professor Jenn-chuan Chern







The Tang Prize Medal.

The Tang Prize Medal, designed by Japanese designer Fukasawa Naoto, is a single piece of 214 g., 99,99 pure gold. The spiral curves imply the structure of DNA, a spiral galaxy, an image of a dragon, in addition to speaking of one's life force and expressing a dynamism of movement. Although the spiral curves are based on a circular structure, they never return to the same position. What they express is a sense of infinity that applies to our history, growth, and life.



2018 Tang Prize Diploma Design Concept
Tang Prize Diploma is a token for recognizing
the contribution of the laureates. 2018 Tang
Prize Diploma design has been commissioned
to the world renowned Dutch book designer
Irma Boom. Abstract and original, the diploma
design is paper art in its simplicity, reflecting
the philosophy of the Tang Prize. Vivid green,
yellow, red, and blue represent the four prize
categories, Sustainable Development, Biopharmaceutical Science, Sinology, and Rule of
Law, respectively.



The Prize has been given every two years since 2014. The fund of each nomination is about 1 360 000 USD, and additional grants for further research are about 340 000 USD, the total amount for winner is about 1,7 million USD.

For more detailed information see website www.tang-prize.org

R



О международной премии Тан

Международная премия Тан учреждена в 2012 г. на Тайване. Премия Тан является высшей научной и общественной наградой за выдающиеся достижения и заслуги в номинациях: «Устойчивое развитие», «Биомедицина», «Синология», «Юриспруденция», и продолжает традиции, которые имеются в мировой практике, такие как Олимпийское движение, Нобелевская премия и другие международные конкурсы.



Основатель Премии Тан – доктор Самуэл Иен-Лян Ин



Руководитель Фонда премии – профессор Дженн-Чуан Черн







Медаль премии Тан

Медаль разработана японским дизайнером Наото Фукасава и представляет цельный кусок 214 г чистого золота 99,99 пробы, выполненный в виде спирали. Спираль подразумевает собой структуру ДНК, спиральные галактики, образ дракона, говорит о силе жизни и выражает динамизм движения. Хотя спирали имеют не кольцевую структуру, они никогда не возвращаются на ту же позицию. Они выражают бесконечность, что относится и к нашей истории, к тенденции роста нашей жизни.



Диплом Премии Тан 2018 является знаком признания выдающихся достижений лауреатов. Диплом Премии Тан 2018 разработал всемирно известный голландский книжный дизайнер Ирма Бум. Абстрактный и оригинальный дизайн диплома – это искусство совмещения на бумаге простых цветовых сочетаний, отражающих философию Премии Тан. Ярко-зеленый, желтый, красный и синий представляют четыре призовые категории: «Устойчивое развитие», «Биомедицина», «Синология» и «Юриспруденция», соответственно.



Премия вручается раз в два года, начиная с 2014. Ее размер в каждой из номинаций составляет около 1 360 000 долл. США, а также дополнительные гранты около 340 000 долл. на проведение дальнейших исследований, итого около 1,7 млн долл. США для победителя.

Более подробная информация на сайте www.tang-prize.org



CONCRETE AND MORTARS MODIFIED BY NANOSIZE ADDITIVES • БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-308-324 UDC 622.24(07)

The application of calcium polysulfide to increase corrosion resistance of the timbering of wells

Authors:

Farit A. Agzamov,

Professor, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, faritag@yandex.ru;

Elvira F. Tokunova,

PhD of Chemistry, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, etokunova@yandex.ru;

Rival R. Sabirzianov,

Graduate Student, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, rivalsaab@gmail.com

Abstract: The cement slurries used in well casing should ensure the tightness of the lining and protect the casing from aggressive formation fluids. At the same time, cement and water based solutions are used for cementing, with a water-cement ratio of 0.45–0.9, which predetermines their high porosity and low corrosion resistance.

The technologies for increasing the durability of concrete used in con-struction practice when fixing wells are not acceptable. One of the most aggressive components of reservoir fluids is hydrogen sulfide, depending on thermodynamic conditions, can be both dissolved and gaseous.

The analysis of various types of corrosion of cement stone shows the ki-netics is determined by the diffusion of aggressive ions into the stone.

To reduce the porosity of the cement stone, calcium polysulfide has been proposed, which can precipitate in the pores of the stone during hardening of the cement slurries, clogging the pores, reducing their size, slowing down the diffusion rate of aggressive ions into the cement stone. In addition, calcium polysulfide adsorbing in the pores on cement hardening products will ensure the inhibition of pore space.

Three methods of calcium polysulfide injection into the cement slurries were tested: into the tempering fluid (water), directly into the prepared cement slurry and dry method, through cement powder, which was subsequently subjected to disintegrator treatment.

The results of the experiments showed calcium polysulfide make an impact on the rheological properties and pumpability of cement slurries, increasing the strength of the obtained stone and reducing its permeability.

The stability of a stone in an acidic environment was estimated by its corrosion by one molar hydrochloric acid. The depth of stone corrosion with increasing concentration of PSS decreased from 30 to 6 mm in 21 days.

When testing the cement stone under the action of dissolved hydrogen sulfide for 45 days, it was shown that the increased concentration of calcium polysulfide from 0 to 5% reduced the corrosion depth from 5.0 to 0.3 mm, depending on the technology of adding the reagent.

Micrographs of cement stone samples proved that calcium polysulfide, being distributed in the pore space, blocks the surface of the cement stone, limiting the contact of aggressive ions with hardening products.

Keywords: Cement stone, hydrogen sulfide, increase in corrosion resistance, calcium poly-sulfide.

For citation: Agzamov F.A., Tokunova E.F., Sabirzianov R.R. The application of calcium polysulfide to increase corrosion resistance of the timbering of wells. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 308–324. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-308-324.



CONCRETE AND MORTARS MODIFIED BY NANOSIZE ADDITIVES • БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

/><a>
/><a>
/><a>
/><a>
/>/><a>
/><a>
/><a>
/><a>
/><a>
<a>
/><a>
/><a>
/><a>
/><a>
/<a>
/><a>
/><a>
/><a>
/<a>
/><a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
/<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>
<a>

Статья поступила в редакцию: 21.04.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 17.05.2019.

Статья принята к публикации: 26.05.2019.

Применение полисульфида кальция для повышения коррозионной стойкости крепи скважин

Авторы:

Агзамов Фарит Акрамович,

ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Россия, профессор, faritag@yandex.ru;

Токунова Эльвира Фаритовна,

ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Россия, доцент кафедры, etokunova@yandex.ru;

Сабирзянов Риваль Рамилевич,

ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Россия, магистрант кафедры, rivalsaab@gmail.com

Резюме: Цементные растворы, применяемые при креплении скважин, должны обеспечить герметичность крепи и защитить обсадную колонну от агрессивных пластовых флюидов. При этом для цементирования используются растворы на основе цемента и воды, при водоцементном отношении 0,45-0,9, что предопределяет их высокую пористость и низкую коррозионную стойкость.

Технологии повышения долговечности бетонов, применяемые в строительной практике, при креплении скважин не приемлемы.

Одним из наиболее агрессивных компонентов пластовых флюидов является сероводород, который в зависимости от термодинамических условий может находиться как в растворенном, так и газообразном состоянии.

Анализ различных видов коррозии цементного камня показывает, что кинетика многих из них определяется диффузией агрессивных ионов внутрь камня.

Для снижения пористости цементного камня предложено применение полисульфида кальция, который может осаждаться в порах камня при твердении цементного раствора, кольматируя поры, уменьшая их размер, замедляя скорости диффузии агрессивных ионов внутрь цементного камня. Кроме того, полисульфид кальция, адсорбируясь в порах на продуктах твердения цемента, будет обеспечивать ингибирование порового пространства.

Было опробовано три способа введения полисульфида кальция в цементный раствор: в жидкость затворения (воду), непосредственно в приготовленный цементный раствор и сухой способ, через порошок цемента, подвергаемый впоследствии дезинтеграторной обработке.

Результаты экспериментов показали, что полисульфид кальция не оказывает влияния на реологические свойства и прокачиваемость тампонажных растворов, повышая прочность полученного камня и снижая его проницаемость.

Стойкость камня в кислой среде оценивалась по его коррозии одномолярной соляной кислоте. Глубина коррозии камня с повышением концентрации ПСС снизилась от 30 до 6 мм за 21 сутки.

При испытании цементного камня под действием растворенного сероводорода в течение 45 суток было показано, что увеличение концентрации полисульфида кальция от 0 до 5% снизило глубину коррозии от 5,0 до 0,3 мм, в зависимости от технологии ввода добавки.

Микрофотографии образцов цементного камня подтвердили, что полисульфид кальция, распределяясь в поровом пространстве, блокирует их поверхность, ограничивая контакт агрессивных ионов с продуктами твердения.



CONCRETE AND MORTARS MODIFIED BY NANOSIZE ADDITIVES • БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Ключевые слова: цементный камень, сероводород, повышение коррозионной стойкости, полисульфид кальция.

Для цитирования: Агзамов Ф.А., Токунова Э.Ф., Сабирзянов Р.Р. Применение полисульфида кальция для повышения коррозионной стойкости крепи скважин // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 3. – С. 308–324. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-308-324.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

Статья поступила в редакцию: 21.04.2019. Статья поступила в редакцию после рецензирования: 15.05.2019. Статья принята к публикации: 26.05.2019.

INTRODUCTION

Aggressive effects on cement stone exhibit, without exception, acids and numerous salts. Formation waters of many deposits contain various dissolved salts and are extremely aggressive with respect to the cement stone [1, 2].

The analysis of various types corrosion of cement stone [3–8] shows the kinetics is determined by the diffusion of aggressive ions into the stone. This refers to corrosion under the action of acidic environments, sulfate, magnesia corrosion. During leaching corrosion, the kinetics of diffusion of calcium ions from the cement stone also has diffuse control.

The dense aggregate concrete with a low water-cement ratio (W/C) or im-pregnation of products with special compositions [9–11] is known to be used to increase the durability of structures in industrial and civil construction.

In the construction of wells, these technologies are unacceptable, since cement and water-based solutions are used for cementing with W/C = 0.45-0.9, sometimes containing modifying additives. Reducing the water-cement ratio of cement slurries leads to an increase in the density of the solution and can cause complications or accidents when cementing. In addition, a decrease in the W/C solution leads to a loss of mobility, and the use of plasticizers can cause sedimentation separation of the cement solution [1, 12].

The application of impregnating materials to improve the durability of cement stone in downhole conditions is impossible, because the cement-water slurry used in cementing wells is pumped for 1—4 hours inside the casing and in the annulus with small diameters of pipes and small (15–20 mm) annular gaps at depths a few kilometers away.

For timbering of the wells that consist of a casing and a cement sheath of small thickness, the most weak element is a cement stone that works in constant contact with aggressive formation fluids and is vulnerable to their effects

The article presents the results of a studies of the influence of nanosized particles of calcium polysulfide on the properties of cement stone used in the timbering of oil and gas wells. As part of the research, experiments were conducted to assess the effects of calcium polysulfide on cement slurries and the resulting stone, its durability in a hydrogen sulfide environment. Electron microscopy made it possible to evaluate the role of nanosized particles of calcium polysulfide to increase the corrosion resistance of cement stone.

MAIN PART

Theoretical aspects of hydrogen sulfide corrosion the cement stone

Hydrogen sulfide, the amount of which in gas reservoir can reach up to 25% is the most aggressive component of reservoir fluids [13, 14, 15]. The mechanism of damage and the factors determining the kinetics of the process are described in detail in [1, 2, 7, 13–15]. The conditions for the destruction of the stone during gas hydrogen sulfide aggression are the high porosity of the stone, which ensures the penetration of the aggressor deep into the stone, and the high pH of the hardening products, ensuring the formation of slightly soluble calcium sulfide. The



accumulation of the latter leads to the development of tension stresses in the cement stone. A secondary factor in the appearance of tension stresses may be the formation of ettringite during the transition of sulfide sulfur to sulfate. The most vulnerable to hydrogen sulfide gas is the stone from Portland cement, whereas stone samples with $pH \leq 11$, obtained from scoriaceous binders at high temperatures, proved to be resistant [14, 16].

Under the action of dissolved hydrogen sulfide on cement stone, corrosion of the first type is observed (according to V.M. Moskvin) [3, 4, 13, 14], and sam-ples of stone from all types of binders, with the exception of acid-resistant cement, are destroyed, and that concerns only rate of the process. At the same time, the defeat process is stratified inherent in acid corrosion.

The kinetics of the corrosion process is determined by the concentration of the corrosive medium at the border with the cement stone, the composition and density of the corrosion product layer, the reaction capacity of the cement stone, and can be described by various kinetic curves [17].

For cement stones in deep wells, when the rate of supply of an aggressive agent to the sample surface is greater than its diffusion in the pores of the stone, the most effective way to slow down corrosion is to control the structure of the pore space, which has become the main task of research.

Unfortunately, the technological methods widely used in construction are practically impossible to use when cementing casing strings in deep wells, although work has been done in this direction. In particular, it is possible to note the work [18], which describes the experience of using the method of chemical condensation of micro-disperse particles in stone pores. A similar effect is also observed when using nanosilica additives [19].

To reduce the porosity of the cement stone, we have proposed the use of calcium polysulfide, solutions of which are successfully used in construction as an impregnation, and acting as a protective film. Calcium polysulfide in the processing of concrete products reduces permeability, increases the strength of concrete and frost resistance, which is convincingly shown in [20, 21].

The idea of using calcium polysulfide in cement slurries was that when depositing in the pores of the stone, it forms a protective coating of hydrophobic sulfur nanoparticles, which will ensure the inhibition of pore space. In addition, the rate of diffusion of aggressive ions inside the cement stone will slow down.

During the experiments, three methods were tested to introduce liquid calcium polysulfide into the cement slurries: into the tempering fluid (water), directly into the prepared cement slurry and dry method, through cement powder, which was subsequently subjected to disintegrator treatment.

The effect of calcium polysulfide on the rheological properties of cement slurry and stone

At this stage of the study, calcium polysulfide at a concentration of 0-5% by weight of cement was injected directly into the cement slurry prepared from the plugging Portland cement PCT-I-50, with a water-cement ratio of 0.45. To determine the rheological properties of cement slurries (plastic viscosity η and dynamic shear stress to), the atmospheric OFITE Model 900 viscometer was used. In addition, taking into account the technological features of cement slurry injection, they determined the static shear stress (SNS) after 10 seconds and 10 minutes [1,25]. The spreadability of the cement slurry (2R), measured by the AzNII cone, was also monitored (Table 1).

Experiments show of that calcium polysulfide has no significant effect on the rheological properties of cement slurries.

Since the time of the moveable state of the cement slurry during the ce-menting of wells can reach up to 4–5 hours, for these systems the most important indicator is the pumpability determined by the consistometer [1]. In this case, the effectiveness of various methods for the input of calcium polysulfide into cement slurries were tested (Table 2).

Table 1
The effect of calcium polysulfide on the rheological properties of cement slurry

| Calcium | | Weight indices | | | | | |
|---------|----------------|----------------|----------------------|---|--------------------------------------|--------|--|
| Nº | polysulfide, % | η, mPa•s | τ _o , dPa | Gel strength _{10 sec} ,
dPa | Gel strength _{10 min} , dPa | 2R, cm | |
| 1 | 0 | 68,5 | 10,0 | 8 | 10 | 22 | |
| 2 | 1 | 63,5 | 10,8 | 9 | 12 | 22 | |
| 3 | 3 | 63,1 | 10,5 | 9 | 14 | 24 | |
| 4 | 5 | 62,6 | 10,6 | 8 | 15 | 24 | |



Table 2

The effect of calcium polysulfide on the pumpability of cement slurry

| No | Calcium | The pumpability of the cement slurry, hour, with the input of calcium polysulfide | | | | |
|-----|----------------|---|------------------------|-----------------------|--|--|
| 145 | polysulfide, % | into the tempering fluid
(water) | into the cement slurry | through cement powder | | |
| 1 | 0 | 4 | 4 | 3 | | |
| 2 | 1 | 5 | 5 | 4 | | |
| 3 | 3 | 5,9 | 6 | 4,5 | | |
| 4 | 5 | 6,4 | 6,5 | 5 | | |

Increased concentration of calcium polysulfide in cement slurry rises the time of its pumpability. When the additive is introduced into the tempering fluid or in the cement slurry, the allowable pumping time the solution is almost the same, but when input the reagent through the disintegrator, this value is already 1–1.5 hours less. The processes occurring with cement during its disintegrating treatment play an important role in accelerating the structure formation of solutions [22].

The effects of calcium polysulfide on the strength characteristics of cement stone are given in table 3.

Introduction of the calcium polysulfide to the composition of the cement slurry increases the strength of the cement stone. Moreover, with increased concentration of it in the solution, the compressive and flexural strength becomes significantly higher. For example, in the sample with a 5% additive, the flexural strength increased

by 2 times compared with the original sample, and the compressive strength increased by 1.23 times. The reason for increasing the strength of cement stone, perhaps, is the clogging of its pores.

This assumption was proved by the results of the evaluation of the permea-bility of cement stone at the age of three days, given in Table 4.

When calcium polysulfide was added to the cement mortar, the permea-bility of the cement stone dropped sharply (more than 2 times for the sample from 5%) compared to the control sample, which proves a change in the structure of the pore space of the cement stone.

Since most types of corrosion of cement stone under the action of aggressive fluids are controlled by the diffusion of the aggressor deep into the stone, the change in the structure should significantly affect the rate of corrosion processes.

Table $\it 3$ The effect of calcium polysulfide on the strength of cement stone

| Weight indiana | The strength of the stone, MPa, with the addition of calcium polysulfide, % | | | | | | |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|--|
| Weight indices | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Flexural strength | 1,16 | 1,16 | 1,29 | 1,41 | 2,14 | 2,32 | |
| Compressive strength | 20,9 | 21,2 | 21,8 | 24,5 | 25,0 | 25,6 | |

Table 4
The effect of calcium polysulfide on the permeability of cement stone

| The permeability of cement stone, mD, with the addition of calcium polysulfide,% | | | | | | |
|--|-----|------|------|--|--|--|
| 0 | 1 | 3 | 5 | | | |
| 0,34 | 0,2 | 0,18 | 0,14 | | | |



Effect of calcium polysulfide on acid corrosion of cement stone

In the experiments, the aggressive medium was represented by a one-molar solution of hydrochloric acid (HCl) with a ratio of the volumes of the acid so-lution to the volume of cement stone samples 10: 1. The watercement ratio of the solution is 0.4, the cement grade PCT-I-50, the age of the samples prior to installation in an aggressive environment is three days. Replacement of the corrosive medium was carried out in three days with the duration of the experiment of 35 days. Every 7 days from the corrosive environment there were selected samples for research.

It was also assumed as the temperature of sample formation increases, calcium polysulfide may melt and, spreading, will cover a large surface of the pores, increasing the degree of their inhibition. For this, a part of the samples with the concentration of the additive of 3% and 5% were subjected to boiling in water for two hours. This experiment partially modeled the working conditions of cement stone in wells at bottomhole temperatures close to 100° C, corresponding to depths of more than 4000 m.

After the end of the experiment, the following results were obtained.

1. Samples of additive-free cement during the test completely collapsed.

- Samples of cement with the addition of 1% calcium polysulfide were almost completely destroyed during the test
- 3. Samples of cement with the addition of 3% calcium polysulfide during the experiment were partially destroyed (Fig. 1a). The corner of on one sample a «corroded» layer broke off.
- 4. Samples of cement with the addition of 5% calcium polysulfide were practically not corroded during the test, except for the breakaway angle (Fig. 1b).
- 5. Samples of cement with the addition of 3% calcium polysulfide, subjected to two-hour boiling, after 35 days of testing did not collapse and practically did not undergo corrosion. Cracking and delamination were not observed (Fig. 2a).
- 6. Samples of cement with the addition of 5% calcium polysulfide, sub-jected to two-hour boiling, after 35 days of testing did not collapse and did not undergo corrosion (Fig. 2b).

Prior to placing the samples in an aggressive environment, the permeability of the cement stone was measured, and during the experiment the corrosion depth of the test samples was determined (Table 5).

The experiments carried out confirmed both the positive effect of calcium polysulfide on the kinetics acid corrosion of cement stone. And the assumption of inhibition of the surface of the pores with molten sulfur.

a



a



b



Fig. 1. Cement stone samples after acid corrosion:

- a the content of calcium polysulfide 3%;
- b the content of calcium polysulfide 5%

b

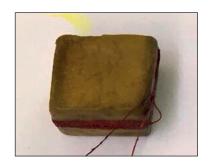


Fig. 2. Cement stone samples boiled after acid corrosion:

- a the content of calcium polysulfide 3%;
- b the content of calcium polysulfide 5%



Table 5
Summary of acid corrosion research

| No | Calcium | Permeability of the stone | Depth of corrosion, mm through, days | | | | |
|----|----------------|---------------------------|--------------------------------------|----|----|----|--|
| No | polysulfide, % | at the age of 2 days, mD | 7 | 14 | 21 | 35 | |
| 1 | 0 | 0,35 | 5 | 8 | 30 | - | |
| 2 | 1 | 0,2 | 5 | 10 | 18 | 30 | |
| 3 | 3 | 0,18 | 3 | 5 | 6 | 10 | |
| 4 | 5 | 0,14 | 3 | 5 | 6 | 9 | |
| 5 | 3 + boiling | 0,14 | 2 | 3 | 5 | 7 | |
| 6 | 5 + boiling | 0,12 | 2 | 3 | 5 | 6 | |

The effect of calcium polysulfide on hydrogen sulfide corrosion of cement stone

The final stage of the experiments was the studies of corrosion of a cement stone when exposed to hydrogen sulfide dissolved in water with a concentration of 3000 mg/l.

In the experiment, seven cement slurries were used: without additives; with calcium polysulfide at a concentration of 1%, 3%, 5% input method — in the ce-ment slurry; with calcium polysulfide in the same concentrations, the input method is through the cement powder. Cement grade PCT-I-50, W/C = 0.4, sample size 40x40x40 mm.

Fig. 3 and 4 show photos of the samples after 45 days in an aggressive environment.

In tab. 6 the results of hydrogen sulfide corrosion of cement stone samples are summarized.

The results of the experiment, confirmed that calcium polysulfide has anti-corrosion properties against aggressive media. With an increase in the concentration of the additive in the solution, the penetration depth of aggressive components decreases, therefore, the corrosion process is significantly slowed down.

Micrographs samples of cement stone, presented in Fig. 5. It was shown that calcium polysulfide, being distributed in the pore space, blocks their surface, limiting the contact of aggressive ions with hardening products.

Micrographs clearly show that calcium polysulfide fills the pore space of the cement stone during its hardening and does not allow components of the corrosive medium to penetrate into the stone and destroy it.

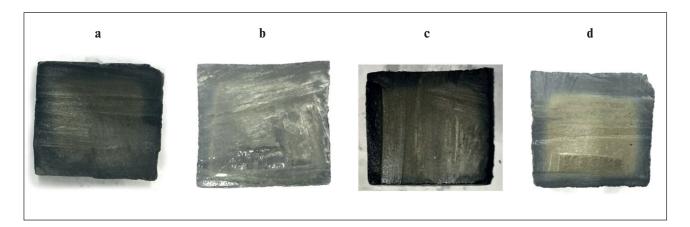


Fig. 3. Samples of cement stone after corrosion in dissolved hydrogen sulfide:

- a a sample of additive-free cement;
- b a sample of cement with 1% calcium polysulfide, input additives in the solution;
- c a sample of cement with 3% calcium polysulfide, input additives in the solution;
- d a sample of cement with 5% calcium polysulfide, input additives in the solution



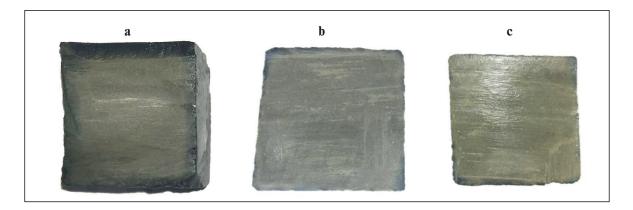
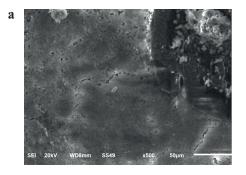


Fig. 4. Samples of cement stone after corrosion in hydrogen sulfide dissolved in water:

- a a sample of cement with 1% calcium polysulfide, the input of the additive through a disintegrator;
- b-a sample of cement with 3% calcium polysulfide, the input of the additive through cement powder;
- c a sample of cement with 5% calcium polysulfide, the input of the additive through cement powder

 $\begin{tabular}{ll} Table 6 \\ \hline \textbf{Generalized data on the study of hydrogen sulfide corrosion} \\ \end{tabular}$

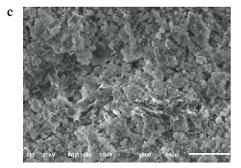
| Calcium polysulfide, % | Input method of calcium polysulfide | Depth of corrosion, mm | Volume of corroded cement stone, mm ³ |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|
| 0 | _ | 6 | 324 |
| 1 | in cement slurry | 5 | 270 |
| 3 | in cement slurry | 4 | 216 |
| 5 | in cement slurry | 4,5 | 243 |
| 1 | through cement powder | 3 | 162 |
| 3 | through cement powder | 2 | 108 |
| 5 | through cement powder | 0,3 | 16,2 |

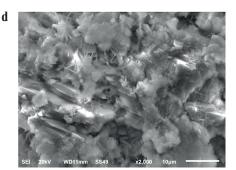


SEI 20KV WD8mm SS49 x2,000 10µm

Fig. 5. Micrographs of cement stone samples: a — pore space near the grain of cement x 500; b — time of cement stone x 2000; c — pore space filled with

c — pore space filled with calcium polysulfide x500; d — calcium polysulfide crystals x 2000







CONCLUTION

- 1. The use of calcium polysulfide in cement slurries is an effective way to increase the durability of cement stone when exposed to aggressive fluids, due to clogging of the pores and inhibiting their surface.
- Calcium polysulfide does not impair the rheological properties of cement slurries and their pumpability, allowing for normal casing cementing processes.
- 3. The addition of calcium polysulfide to cement mortars increases the strength and reduces the permeability of the resulting cement stone.
- 4. The most effective is the technology of introduction of calcium polysulfide into dry cementing material with its subsequent disintegrator processing.
- 5. The revealed features of the change in the properties of the mortar and stone based on the Portland cement show the prospect of using calcium polysulfide nanoadditives to obtain durable concrete structures.

ВВЕДЕНИЕ

Агрессивное влияние на цементный камень проявляют все без исключения кислоты и многочисленные соли. Пластовые воды многих месторождений содержат различные растворенные соли и являются крайне агрессивными по отношению к тампонажному камню [1, 2].

Анализ различных видов коррозии [3–8] показывает, что кинетика многих их них определяется диффузией агрессивных ионов внутрь камня. Это относится к коррозии под действием кислых сред, сульфатной, магнезиальной коррозии. При коррозии выщелачивания кинетика диффузии ионов кальция из цементного камня также имеет диффузный контроль.

Из практики промышленного и гражданского строительства для повышения долговечности конструкций известно применение плотных бетонов с пониженным водоцементным отношением (В/Ц) или пропитка изделий специальными составами [9—11].

При строительстве скважин данные технологии неприемлемы, поскольку для цементирования используются растворы на основе цемента и воды, при В/Ц 0,45—0,9, иногда содержащие модифицирующие добавки. Снижение водоцементного отношения тампонажных растворов ведет к повышению плотности раствора и может привести к осложнениям или авариям при цементировании. Кроме того, снижение В/Ц раствора приводит к потере его подвижности, а применение пластификаторов может вызвать седиментационное расслоение раствора [1, 12].

Использование пропиточных материалов для повышения долговечности цементного камня в скважинных условиях невозможно, поскольку используемая при цементировании скважин цементоводная суспензия в течение 1—4 часов прокачивается внутри обсадных труб и по затрубному пространству при

небольших диаметрах труб и малых (15—20 мм) кольцевых зазорах на глубинах несколько километров.

Для крепи скважин, состоящей из обсадной колонны и цементного кольца небольшой толщины, наиболее слабым звеном является цементный камень, который работает в постоянном контакте с агрессивными пластовыми флюидами и уязвим к их воздействию.

В статье представлены результаты исследования влияния наноразмерных частиц полисульфида кальция на свойства цементного камня, применяемого при креплении нефтяных и газовых скважин. В рамках исследований были проведены эксперименты по оценке воздействия полисульфида кальция на цементные растворы и полученный камень, его стойкость в сероводородной среде. Электронная микроскопия позволила оценить влияние наноразмерных частиц полисульфида кальция на повышение коррозионной стойкости цементного камня.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Теоретические аспекты сероводородной коррозии цементного камня

Сероводород, количество которого в пластовом газе может доходить до 25%, является наиболее агрессивным компонентом пластовых флюидов [13, 14, 15]. Механизм поражения и факторы, определяющие кинетику процесса, подробно описаны в работах [1, 2, 7, 13—15]. Условиями разрушения камня при газовой сероводородной агрессии является высокая пористость камня, обеспечивающая проникновение агрессора в глубь камня, и высокий рН продуктов твердения, обеспечивающий образование малорастворимого сульфида кальция. Накопление последнего и приводит к развитию растягивающих напряжений в цементном камне. Вторичным фактором появления растягивающих напряжений мо-



жет явиться образование эттрингита при переходе сульфидной серы в сульфатную. Наиболее уязвимым к газообразному сероводороду является камень из портландцемента, тогда как образцы камня с рH \leq 11, полученные из шлаковых вяжущих при высоких температурах, оказались стойкими [14, 16].

При воздействии растворенного сероводорода на цементный камень наблюдается коррозия первого типа (по Москвину В.М.) [3, 4, 13, 14], причем образцы камня из всех видов вяжущих, за исключением кислотоупорного цемента, разрушаются, и речь идет только о скорости процесса. При этом процесс поражения имеет послойный характер, присущий кислотной коррозии.

Кинетика процесса коррозии определяется концентрацией агрессивной среды на границе с цементным камнем, составом и плотностью слоя продуктов коррозии, реакционной емкостью цементного камня, и может описываться различными кинетическими кривыми [17].

Для цементного камня глубоких скважин, когда скорость подвода агрессивного агента к поверхности образца больше, чем его диффузия в порах камня, наиболее эффективным способом замедления коррозии является управление структурой порового пространства, что и стало основной задачей исследований.

К сожалению, технологические приемы, широко применяемые в строительстве, практически невозможно использовать при цементировании обсадных колонн в глубоких скважинах, хотя работы в этом направлении проводились. В частности, можно отметить работу [18], в которой описан опыт применения метода химического конденсирования микродисперсных частиц в порах камня. Подобный эффект наблюдается и при использовании добавок нанокремнезема [19].

Нами для снижения пористости цементного камня предложено применение полисульфида кальция, растворы которого успешно применяются в строительстве в качестве пропитки, действующей в роли защитной пленки. Полисульфид кальция при обработке бетонных изделий уменьшает проницаемость, повышает прочность бетона и морозостойкость, что убедительно доказано в работах [20, 21].

Идея применения полисульфида кальция в тампонажных растворах состоит в том, что он, осаждаясь в порах камня, образует защитное покрытие из гидрофобных наночастиц серы, которые будут обеспечивать ингибирование порового пространства. Кроме того, будет замедляться скорость диффузии агрессивных ионов внутрь цементного камня.

При проведении экспериментов было использовано три способа введения жидкого полисульфида кальция в цементный раствор: в жидкость затворения (воду), в приготовленный цементный раствор и сухой способ, в порошок цемента, подвергаемый впоследствии дезинтеграторной обработке. Результаты экспериментов показали, что последний способ оказался самым эффективным.

Влияние полисульфида кальция на реологические свойства цементного раствора и камня

На этом этапе исследований полисульфид кальция в концентрации от 0 до 5% от массы цемента вводился непосредственно в цементный раствор, приготовленный из тампонажного портландцемента ПЦТ-I-50, при водоцементном отношении 0,45. Для определения реологических свойств тампонажных растворов (пластическая вязкость η и динамическое напряжение сдвига то) использовался атмосферный вискозиметр OFITE Model 900. Кроме того, с учетом технологических особенностей закачки тампонажных растворов, у них определялось статическое напряжение сдвига (СНС) через 10 секунд и 10 минут [1, 25]. Также контролировалась растекаемость цементного раствора (2R), замеряемая по конусу АзНИИ (табл. 1).

Таблица 1 Влияние полисульфида кальция на реологические свойства цементного раствора

| | Полиоульфил | Показатели | | | | | |
|---|------------------------|------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|--|
| № | Полисульфид кальция, % | η, мПа•с | т _。 , дПа | СНС _{10сек} ,
дПа | СНС _{10мин} ,
дПа | 2R, см | |
| 1 | 0 | 68,5 | 10,0 | 8 | 10 | 22 | |
| 2 | 1 | 63,5 | 10,8 | 9 | 12 | 22 | |
| 3 | 3 | 63,1 | 10,5 | 9 | 14 | 24 | |
| 4 | 5 | 62,6 | 10,6 | 8 | 15 | 24 | |



Таблица 2 Влияние полисульфида кальция на прокачиваемость цементного раствора

| No | Поборую 0/ | Прокачиваемость цементного раствора, час, при вводе полисульфида кальция | | | | |
|-------|------------|--|---------------------|---------------------|--|--|
| 1,405 | Добавка, % | в жидкость затворения | в цементный раствор | через дезинтегратор | | |
| 1 | 0 | 4 | 4 | 3 | | |
| 2 | 1 | 5 | 5 | 4 | | |
| 3 | 3 | 5,9 | 6 | 4,5 | | |
| 4 | 5 | 6,4 | 6,5 | 5 | | |

Эксперименты показали, что полисульфид кальция не оказывает существенного влияния на реологические свойства тампонажных растворов.

Поскольку время подвижного состояния цементного раствора при креплении скважин может доходить до 4—5 часов, то для этих систем важнейшим показателем является прокачиваемость, определяемая консистометром [1]. При этом была проверена эффективность различных способов ввода полисульфида кальция в цементные растворы (табл. 2).

Повышение концентрации полисульфида кальция в цементном растворе увеличивает время его прокачиваемости. При вводе добавки в жидкость затворения или в цементный раствор допустимое время прокачивания раствора практически одинаково, но при вводе реагента через дезинтегратор это значение уже на 1-1,5 часа меньше. Мы полагаем, что в ускорении структурообразования растворов важную роль играют процессы, происходящие с цементом при его дезинтеграторной обработке [22].

Влияние полисульфида кальция на прочностные показатели цементного камня приведены в табл. 3.

Введение в состав цементного раствора полисульфида кальция повышает прочность полученного камня. Более того, с увеличением его концентрации в растворе прочность на сжатие и изгиб становится существенно выше. К примеру, у образца с 5% добавкой прочность на изгиб возросла в 2 раза по сравнению с исходным образцом, а прочность на сжатие увеличилась в 1,23 раза. Причиной повышения прочности цементного камня, возможно, является кольматация его пор.

Подтверждением данного предположения явились результаты оценки проницаемости цементного камня в возрасте трех суток, приведенные в табл. 4.

При добавке полисульфида кальция в цементный раствор проницаемость цементного камня резко снизилась (более чем в 2 раза для образца с 5%) по сравнению с контрольным образцом, что доказы-

 Таблица 3

 Влияние полисульфида кальция на прочность цементного камня

| Поморожени | Предел прочности камня, М Π а, при добавке полисульфида кальция, $\%$ | | | | | | | |
|------------|---|------|------|------|------|------|--|--|
| Показатели | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| При изгибе | 1,16 | 1,16 | 1,29 | 1,41 | 2,14 | 2,32 | | |
| При сжатии | 20,9 | 21,2 | 21,8 | 24,5 | 25,0 | 25,6 | | |

Таблица 4 Влияние полисульфида кальция на проницаемость цементного камня

| Проницаемость цементного камня, мД, при добавке сульфидной серы, % | | | | | | |
|--|-----|------|------|--|--|--|
| 0 | 1 | 3 | 5 | | | |
| 0,34 | 0,2 | 0,18 | 0,14 | | | |



вает изменение структуры порового пространства цементного камня.

Поскольку большинство видов коррозии цементного камня при действии агрессивных флюидов контролируется диффузией агрессора в глубь камня, то изменение структуры последнего должно существенно повлиять на скорость коррозионных процессов.

Влияние полисульфида кальция на кислотную коррозию цементного камня

В экспериментах агрессивная среда была представлена одномолярным раствором соляной кислоты (HCl) при соотношении объемов раствора кислоты к объему образцов цементного камня 10:1. Водоцементное отношение раствора 0,4, марка цемента ПЦТ-I-50, возраст образцов до установки в агрессивную среду — трое суток. Замена агрессивной среды проводилась через трое суток при продолжительности эксперимента 35 суток. Через каждые 7 суток из агрессивной среды отбирались образцы для исследований.

Предполагалось также, что при повышении температуры формирования образцов полисульфид кальция может расплавиться и, растекаясь, покроет большую поверхность пор, увеличив степень их ингибирования. Для этого часть образцов с концентрацией добавки 3% и 5% были подвергнуты кипячению в воде в течение двух часов. Данный эксперимент частично моделировал условия работы цементного камня в скважинах

при забойных температурах, близких к 100°C, соответствующих глубинам более 4000 м.

После окончания эксперимента были получены следующие результаты:

- 1. Образцы из бездобавочного цемента в ходе испытания полностью разрушились.
- 2. Образцы из цемента с добавкой 1% полисульфида кальция в ходе испытания разрушились практически полностью.
- 3. Образцы из цемента с добавкой 3% полисульфида кальция в ходе эксперимента частично разрушились (рис. 1а). На одном образце в углу откололся «прокорродированный» слой.
- 4. Образцы из цемента с добавкой 5% полисульфида кальция в ходе испытания практически не подверглись коррозии, за исключением отколовшегося угла (рис. 16).
- 5. Образцы из цемента с добавкой 3% полисульфида кальция, подвергнутые двухчасовому кипячению, после 35 суток испытаний не разрушились и практически не подверглись коррозии. Растрескивания и расслаивания не наблюдалось (рис. 2a).
- 6. Образцы из цемента с добавкой 5 % полисульфида кальция, подвергнутые двухчасовому кипячению, после 35 суток испытаний не разрушились и не подверглись коррозии (рис. 26).

До установки образцов в агрессивную среду была измерена проницаемость цементного камня, а в ходе

a



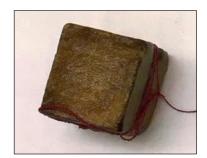
б



Рис. 1. Образцы цементного камня после кислотной коррозии:

- а содержание полисульфида кальция 3%;
- б содержание полисульфида кальция 5%

a



б

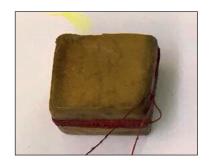


Рис. 2. Образцы цементного камня, подвергнутые кипячению после кислотной коррозии:

- а содержание полисульфида кальция 3%;
- б содержание полисульфида кальция 5%



Таблица 5 Обобщенные данные по исследованию кислотной коррозии

| No | Добавка полисульфида | Проницаемость камня | Глу | Глубина коррозии, мм через, сут | | | |
|------|----------------------|----------------------|-----|---------------------------------|----|----|--|
| 1,45 | кальция, % | в возрасте 2 сут, мД | 7 | 14 | 21 | 35 | |
| 1 | 0 | 0,35 | 5 | 8 | 30 | - | |
| 2 | 1 | 0,2 | 5 | 10 | 18 | 30 | |
| 3 | 3 | 0,18 | 3 | 5 | 6 | 10 | |
| 4 | 5 | 0,14 | 3 | 5 | 6 | 9 | |
| 5 | 3 + кипячение | 0,14 | 2 | 3 | 5 | 7 | |
| 6 | 5 + кипячение | 0,12 | 2 | 3 | 5 | 6 | |

эксперимента определялась глубина коррозии испытуемых образцов (табл. 5).

Проведенные эксперименты подтвердили положительное влияние полисульфида кальция на кинетику кислотной коррозии цементного камня. Также получило подтверждение предположение об ингибировании поверхности пор расплавом серы.

Влияние полисульфида кальция на сероводородную коррозию цементного камня

Завершающим этапом экспериментов стало исследование коррозии цементного камня при воздействии растворенного в воде сероводорода с концентрацией 3000 мг/л.

В эксперименте было использовано семь рецептур цементного раствора: без добавок; с полисульфидом кальция при концентрации 1%, 3%, 5% ме-

тод ввода — в цементный раствор; с полисульфидом кальция в тех же концентрациях метод ввода — через дезинтегратор. Марка цемента — $\Pi \coprod T$ -I-50, $B/\coprod = 0,4$, размер образцов — 40x40x40 мм.

На рис. 3, 4 представлены фото образцов после 45 суток пребывания в агрессивной среде.

В табл. 6 представлены обобщенные результаты по исследованию сероводородной коррозии образцов цементного камня.

Результаты эксперимента подтвердили, что полисульфид кальция обладает антикоррозионными свойствами по отношению к агрессивным средам. С увеличением концентрации добавки в растворе снижается глубина проникновения агрессивных компонентов, следовательно, существенно замедляется процесс коррозии.

Микрофотографии образцов цементного камня, представленные на рис. 5, показали, что полисуль-

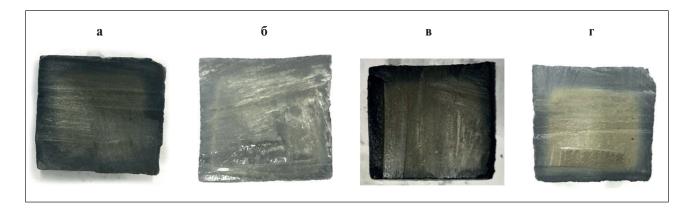


Рис. 3. Образцы цементного камня после коррозии в растворенном в воде сероводороде:

- а образец из бездобавочного цемента;
- б образец из цемента с 1% полисульфида кальция, ввод добавки в раствор;
- в образец из цемента с 3% полисульфида кальция, ввод добавки в раствор;
- г образец из цемента с 5% полисульфида кальция, ввод добавки в раствор



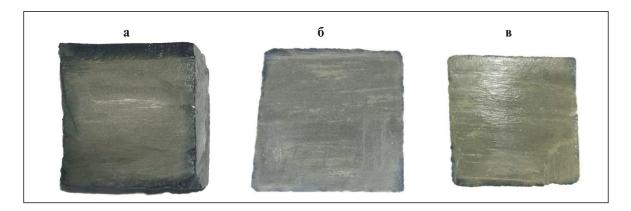


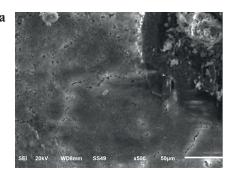
Рис. 4. Образцы цементного камня после коррозии в растворенном в воде сероводороде: а — образец из цемента с 1% полисульфида кальция, ввод добавки — через дезинтегратор, б — образец из цемента с 3% полисульфида кальция, ввод добавки — через дезинтегратор, в — образец из цемента с 5% полисульфида кальция, ввод добавки — через дезинтегратор

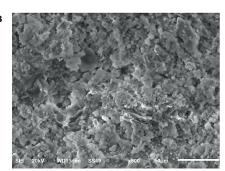
 Таблица 6

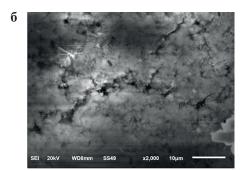
 Обобщенные данные по исследованию сероводородной коррозии

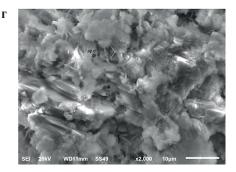
| Концентрация полисульфида кальция, % | Метод ввода полисульфида
кальция | Глубина коррозии, мм | Объем прокорродированного цементного камня, мм ³ |
|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| 0 | _ | 6 | 324 |
| 1 | в цементный раствор | 5 | 270 |
| 3 | в цементный раствор | 4 | 216 |
| 5 | в цементный раствор | 4,5 | 243 |
| 1 | через дезинтегратор | 3 | 162 |
| 3 | через дезинтегратор | 2 | 108 |
| 5 | через дезинтегратор | 0,3 | 16,2 |

Рис. 5. Микрофотографии образцов цементного камня: а — поровое пространство около зерна цемента х 500; б — пора цементного камня х 2000; в — поровое пространство, заполненное полисульфидом кальция х 500; г — кристаллы полисульфида кальция х 2000











фид кальция, распределяясь в поровом пространстве, блокирует их поверхность, ограничивая контакт агрессивных ионов с продуктами твердения.

На микрофотографиях четко видно, что полисульфид кальция заполняет собой поровое пространство цементного камня при его твердении и не дает компонентам агрессивной среды проникать внутрь камня и разрушать его.

заключение:

1. Применение полисульфида кальция в тампонажных растворах является эффективным способом повышения долговечности цементного камня при воздействии агрессивных флюидов, за счет кольматации пор и ингибирования их поверхности.

- 2. Полисульфид кальция не ухудшает реологические свойства тампонажных растворов и их прокачиваемость, позволяя нормально обеспечить процессы цементирования обсадных колонн.
- 3. Добавка полисульфида кальция в цементные растворы повышает прочность и снижает проницаемость получаемого цементного камня.
- Наиболее эффективной является технология ввода полисульфида кальция в сухой тампонажный материал с его последующей дезинтеграторной обработкой.
- 5. Выявленные особенности изменения свойств раствора и камня на портландцементной основе показали перспективу применения нанодобавок полисульфида кальция для получения долговечных заливных бетонных конструкций.

REFERENCES

- 1. Agzamov F.A., Izmuhambetov B.S., Tokunova E.F. Himija tamponazhnyh i promyvochnyh rastvorov [Chemistry of grouting and flushing solutions]. Saint-Petersburg, Nedra, 2011. 268 p. (In Russian).
- 2. Shmelev P.S. Burenie glubokih skvazhin v uslovijah anomal'nogo vozdejstvija korrozionnoaktivnyh sred [Drilling of deep wells in the conditions of the abnormal influence of corrozive environments]. Moscow, Nauka, 1998. 351 p. (In Russian).
- 3. Moskvin V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zashhity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow, Strojizdat, 1980. 536 p. (In Russian).
- 4. Kind V.V. Korrozija cementov i betona v gidrotehnicheskih sooruzhenijah [Corrosion of cements and concrete in hydraulic engineering constructions]. Moscow, Gosjenergoizdat, 1955. 230 p. (In Russian).
- 5. Mamadzhanov U.D. Korrozija tamponazhnyh cementov v uglekislotnoj srede [Corrosion of grouting cements in the carbon dioxide environment]. Trudy AN UzSSR, otd. tehn. Nauk [Works of academy of Sciences of UZSSR, office of technical science]. 1976. pp. 69–73. (In Russian).
- 6. Rahimbaev Sh.M., Karpacheva E.N., Tolypina N.M. O vybore tipa cementa na osnove teorii kol'matacii pri slozhnom sostave agressivnoj sredy [About the choice of type of cement on the basis of the theory of a colmatation at the complex structure of a severe atmosphere]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2012. no. 5. pp. 25–26. (In Russian).
- 7. Rahimbaev Sh.M., Tolypina N.M. Obosnovanie vybora tipa vjazhushhego dlja agressivnyh sred organicheskogo proishozhdenija na osnove teorii geterogennyh fiziko-himicheskih processov [Justification of the choice of type of the organic origin knitting for severe atmospheres on the basis of the theory of heterogeneous physical and chemical processes]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G.Shuhova [Bulletin of the Belgorod state technological university of V.G. Shukhov]. 2016. no. 9. pp. 159–163. (In Russian).
- 8. Rahimbaev, Sh.M., Tolypina N.M. Povyshenie korrozionnoj stojkosti betonov putem racional'nogo vybora vjazhushhego i zapolnitelej [Increase in rust resistance of concrete by the rational choice knitting and fillers]. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2015. 321 p. (In Russian).
- 9. Volgushev.A.N., Paturoev V.V., Putljaev I.E. Krasil'nikova O.M. Primenenie sery dlja propitki porovoj struktury stroitel'nyh materialov [Use of sulfur for impregnation of steam structure of structural materials]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1976. no. II. pp. 38–39. (In Russian).
- 10. Ignatiev A.V. Povyshenie prochnosti i vodonepronicaemosti rastvorov i betonov propitkoj ih zhidkim steklom [Increase in durability and water tightness of solutions and concrete impregnation by their liquid silica glass]. V kn.: Zhidkoe steklo: Materialy koordinacionnogo soveshhanija po proizvodstvu i prime-neniju zhidkogo stekla v stroitel'stve [In the book.: Liquid silica glass: Materials of a coordination meeting on production and use of liquid glass in construction]. Kiev. 1963. pp. 283–296. (In Russian).
- 11. Marchukajtis G.V. Vlijanie propitki betona monomerami na ego deformativnye svojstva [Concrete impregnation influence by monomers on its stress-strain properties]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1977. no. 6. pp. 30–31. (In Russian).
- 12. Ovchinnikov V.P. Tehnologija burenija neftjanyh i gazovyh skvazhin: uchebnik dlja studentov vuzov [Technology of drilling of oil and gas wells]. Tyumen, 2014. 418 p. (In Russian).
- 13. Kravcov V.M., Kuznecov Ju.S., Mavljutov M.R., Agzamov F.A. Kreplenie vysokotemperaturnyh skvazhin v korrozionno-aktivnyh sredah [Cementing of high-temperature wells in the corrosive environments]. Moscow, Nedra, 1987. 190 p. (In Russian).



CONCRETE AND MORTARS MODIFIED BY NANOSIZE ADDITIVES • БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

- 14. Agzamov F.A., Izmuhambetov B.S. Dolgovechnost' tamponazhnogo kamnja v korrozionno-aktivnyh sredah [Durability of a grouting stone in the corrosive environments]. Saint-Petersburg, Nedra, 2005. 318 p. (In Russian).
- 15. Polak A.F. Matematicheskoe modelirovanie processa korrozii betona v zhidkih sredah [Mathematical model operation of process of corrosion of concrete in liquid environments]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1988. no. 3. pp. 30–34. (In Russian).
- 16. Danjushevskij V.S., Tarnavskij A.P. Gazovaja serovodorodnaja korrozija tamponazhnyh cementov [Gas hydrosulphuric corrosion of grouting cements]. Gazovaja promyshlennost' [Gas industry]. 1977. no. 6. pp. 46–48. (In Russian).
- 17. Rahimbaev Sh.M., Avershina N.M. Modelirovanie processov himicheskoj korrozii stroitel'nyh materialov [Model operation of processes of chemical corrosion of structural materials]. Sbornik dokladov mezhdunarodnoj konferencii «Novye tehnologicheskie reshenija i jekonomicheskie problemy v proizvodstve betonov, drugih stroitel'nyh materialov i izdelij» [Reports of the international conference «New Technology Solutions and Economic Problems in Production of Concrete, Other Structural Materials and Products»]. Belgorod, 1996. pp. 167–172. (In Russian).
- 18. Kuncevich O.V., Mahinin B.V., Shangina N.N. Struktura cementnogo kamnja s dobavkami superplastifikatora i mikrokremnezema [Structure of a cement stone with additives of supersoftener and microsilicon dioxide]. Tsement [Cement]. 1992. no. 6. pp. 30–36. (In Russian).
- 19. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., RozinaV.Ye., Buyantuev S.L., Bardakhanov S.P. Increased corrosion resistance of basalt reinforced cement compositions with nanosilica. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 4, pp. 15–29. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN/ (Accessed 16.01.2019). (In Russian).
- 20. Massalimov I.A., Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E. Strength and durability of Concrete modified by sulfur-based impregnating compounds. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 3, pp. 61–75. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-61-75. (In Russian).
- 21. Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E., Massalimov I.A. Pore structure modification of cement concretes by impregnation with sulfur-containing compounds. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 1, pp. 63–72. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-63-72.
- 22. Agzamov F.A., Konesev G.V., Hafizov A.R. Application of disintigratory technology for the modification of materials used in the construction of wells. Part II. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 3, pp. 96–108. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-3-96-108. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С., Токунова Э.Ф. Химия тампонажных и промывочных растворов. Санкт-Петербург: OOO «Недра», 2011.-268 с.
- 2. Шмелев П.С. Бурение глубоких скважин в условиях аномального воздействия коррозионноактивных сред. Москва: Наука, 1998. 351 с.
- 3. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Москва: Стройиздат, 1980.-536 с.
 - 4. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях. Москва: Госэнергоиздат, 1955. 230 с.
- 5. Мамаджанов У.Д. Коррозия тампонажных цементов в углекислотной среде // Труды АН УзССР, отд. техн. наук. 1976. С. 69-73.
- 6. Рахимбаев Ш.М., Карпачева Е.Н., Толыпина Н.М. О выборе типа цемента на основе теории кольматации при сложном составе агрессивной среды // Бетон и железобетон. -2012. -№ 5. C. 25-26.
- 7. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Обоснование выбора типа вяжущего для агрессивных сред органического происхождения на основе теории гетерогенных физико-химических процессов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. − 2016. − № 9. − С. 159−163.
- 8. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.
- 9. Волгушев А.Н., Патуроев В.В., Путляев И.Е., Красильникова О.М. Применение серы для пропитки поровой структуры строительных материалов // Бетон и железобетон. -1976. -№ II. C. 38-39.
- 10. Игнатьев А.В. Повышение прочности и водонепроницаемости растворов и бетонов пропиткой их жидким стеклом // Жидкое стекло: Материалы координационного совещания по производству и применению жидкого стекла в строительстве. Киев. 1963. С. 283—296.
- 11. Марчукайтис Г.В. Влияние пропитки бетона мономерами на его деформативные свойства // Бетон и железобетон. -1977. -№ 6. C. 30-31.
- 12. Овчинников В.П. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов вузов. Тюмень. 2014. 418 с.
- 13. Кравцов В.М., Кузнецов Ю.С., Мавлютов М.Р., Агзамов Ф.А. Крепление высокотемпературных скважин в корразионно-активных средах. Москва: Недра, 1987. 190 с.
- 14. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С. Долговечность тампонажного камня в коррозионно-активных средах. С-Пб.: Недра, 2005. 318 с.

http://nanobuild.ru 323 info@nanobuild.ru



CONCRETE AND MORTARS MODIFIED BY NANOSIZE ADDITIVES • БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

- 15. Полак А.Ф. Математическое моделирование процесса коррозии бетона в жидких средах // Бетон и железобетон. -1988 N = 3 C. 30 34.
- 16. Данюшевский В.С., Тарнавский А.П. Газовая сероводородная коррозия тампонажных цементов // Газовая промышленность. -1977. -№ 6. C. 46-48.
- 17. Рахимбаев Ш.М., Авершина Н.М. Моделирование процессов химической коррозии строительных материалов // Сборник докладов международной конференции «Новые технологические решения и экономические проблемы в производстве бетонов, других строительных материалов и изделий». Белгород, 1996. С. 167—172.
- 18. Кунцевич О.В., Махинин Б.В., Шангина Н.Н. Структура цементного камня с добавками суперпластификатора и микрокремнезема // Цемент. -1992.-N 6. -C.30–36.
- 19. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Розина В.Е., Буянтуев С.Л., Бардаханов С.П. Повышение коррозионной стой-кости базальтофиброцементных композиций с нанокремнеземом // Нанотехнологии в строительстве. -2014. Том 6, № 4. С. 15-29. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/ (дата обращения: 16.01.2019).
- 20. Массалимов И.А., Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е. Прочность и долговечность бетона, модифицированного пропиточными составами на основе серы // Нанотехнологии в строительстве. -2015. Том 7, № 3. С. 61-75. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-61-75.
- 21. Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Массалимов И.А. Модифицирование поровой структуры цементных бетонов пропиткой серосодержащими растворами // Нанотехнологии в строительстве. -2015. Том 7, № 1. С. 63-72. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-63-72.
- 22. Агзамов Ф.А., Конесев Г.В., Хафизов А.Р. Применение дезинтеграторной технологии для модификации материалов, используемых при строительстве скважин. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. 2017. Том 9, № 3. C. 96—108. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-3-96-108.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Farit A. Agzamov, Doctor of science, Professor of the Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, faritag@yandex.ru;

Elvira F. Tokunova, PhD of Chemistry, Associate Professor of the Depart-ment «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, etokunova@yandex.ru;

Rival R. Sabirzianov, Graduate student of the Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, rivalsaab@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агзамов Фарит Акрамович, д.т.н., проф., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, faritag@yandex.ru

Токунова Эльвира Фаритовна, к.х.н., доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, etokunova@yandex.ru

Сабирзянов Риваль Рамилевич, магистрант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, rivalsaab@gmail.com

2019; 11 (3): 325-334



STUDY OF PROPERTIES OF NANOMATERIALS • ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334

UDC 666.9.03

The control of rheological behaviour for 3D-printable building mixtures: experimental evaluation of «nano» tools prospects

Authors:

Galina S. Slavcheva,

Professor of Department of Technology of Building Materials, Products and Construction, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, e-mail: gslavcheva@yandex.ru;

Olga V. Artamonova,

Assoc. Prof. of Department of Chemistry and chemical technology of materials, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, e-mail: ol_artam@rambler.ru

Abstract: The extrudability and firm stability are the criteria rheological characteristics of building 3D printable mixtures. This paper presents the results of experimental studies of the rheological behaviour of fresh cement pastes as matrices for 3D printable mixtures. The squeezing test, with constant plate speed, has been used for determination plasticity of cement pastes as criteria of their extrudability. As a result, the typical rheological models of the fresh cement pastes have been identified. In addition, the value of plastic yield stress was evaluated as criteria for the extrusion process. The squeezing test, with constant strain rate, has been used for determination structural and plastic strength, plastic deformations as criteria for the ability of a 3D printable mixture to hold shape during multi-layer casting. It is shown that these properties are significantly controlled by the plasticizer and viscosity modifying additives as factors of changes of disperse system «cement + water» properties. It is established that electrolytes, nanodispersed adsorption-active inorganic modifying additives increase the plasticity of the fresh cement pastes. At the same time, the nanodispersed adsorption-active inorganic modifying additives develop plastic strength as criteria of firm stability. The introduction of inorganic polymers, inert to cement, improves the structural strength of fresh cement pastes but significantly reduces their plasticity. It is shown that the management of rheological behaviour of 3D printable mixtures should be based only by the complex using of chemical addi-tives such as electrolytes, plasticizers and nanodispersed inorganic viscosity modifying additives.

Keywords: 3D-printable building mixtures disperse systems, rheological behaviour, addictives.

Acknowledgments: The study has been carried out within the project 7.10781.2018/11.12 according to the state program «Performance of projects aimed at obtaining initial scientific results for expanded participation of subordinate educational institutes within realization of National technological initiatives».

For citation: Slavcheva G.S., Artamonova O.V. The control of rheological behaviour for 3D-printable building mixtures: experimental evaluation of «nano» tools prospects. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 325–334. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

The control of rheological behaviour for 3D-printable building mixtures: experimental evaluation of «nano» tools prospects by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologies in stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 325–334. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Slavcheva G.S., Artamonova O.V. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License<a>.
b /> > b /> Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http:// nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild-3-2019/ol_artam@rambler.ru

The paper has been received by editors: 22.04.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 14.05.2019.

The paper has been accepted for publication: 27.05.2019.



Управление реологическим поведением смесей для строительной 3D-печати: экспериментальная оценка возможностей арсенала «нано»

Авторы:

Славчева Галина Станиславовна,

профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, e-mail: qslavcheva@yandex.ru

Артамонова Ольга Владимировна,

доцент кафедры химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, e-mail: ol_artam@rambler.ru

Резюме: Пластичность и формоустойчивость являются критериальными характеристиками смесей для строительной 3D-печати. В статье представлены результаты экспериментальных исследований реологического поведения модельных цементных систем как матриц смесей для 3D-печати. Для оценки пластичности использован сдавливающий тест с постоянной скоростью деформирования, по результатам которого выделены типичные модели реологического поведения и найдены значения пределов пластичности, критериальных для процесса экструзиицементных систем. Для оценки формоустойчивости использован сдавливающий тест с постоянной скоростью нагружения, по результатам которого найдены значения структурной и пластической прочности, пластических деформаций цементных систем, характеризующие их способность сохранять форму при действии возрастающих сжимающих напряжений в процессе печати. Получены количественные данные о влиянии вида добавок – модификаторов вязкости на комплекс реологических характеристик цементных систем. Установлено, что применение электролитов, адсорбционно-активных неорганических модификаторов является фактором повышения пластичности цементных систем. Введение нанодисперсных неорганических модификаторов способствует одновременно повышению структурной прочности и, соответственно, формоустойчивости цементных систем при действии нагрузки. Введение инертных по отношению к цементу неорганических полимеров позволяет повысить структурную прочность смесей, но существенно снижает их пластичность. Показано, что прикладные инженерные решения по управлению реологией смесей для 3D-печати могут быть основаны только на совместном использовании добавок электролитов, пластификаторов и нанодисперсных неорганических модификаторов вязкости как средств из арсенала «нано».

Ключевые слова: строительная 3D-печать, смеси, дисперсные системы, реологическое поведение, добавки.

Благодарности: Работа выполнена по проекту 7.10781.2018/11.12 по государственному заданию «Выполнение проектов для получения первичных научных результатов, обеспечивающих расширение участия подведомственных образовательных организаций в реализации Национальной технологической инициативы».

Для цитирования: Славчева Г.С., Артамонова О.В. Управление реологическим поведением смесей для строительной 3D-печати: экспериментальная оценка возможностей арсенала «нано» // Нанотехнологии в строительстве. − 2019. − Том 11, № 3. − С. 325−334. − DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334.

${\it Machine-readable\ information\ on\ CC-licenses\ (HTML-code)\ in\ metadata\ of\ the\ paper}$

/><a>

/<a>

/<

Статья поступила в редакцию: 22. 04.2019. Статья поступила в редакцию после рецензирования: 14.05.2019. Статья принята к публикации: 27.05.2019.



ВВЕДЕНИЕ

Вобщем семействе инновационных 3D аддитивных процессов роботизированного создания строительных объектов в настоящее время доведен до стадии промышленного внедрения метод 3D-печати как наиболее приемлемый для практики строительства. Строительная 3D-печать включает стадии приготовления вязкопластичной смеси, транспортирования ее из смесителя в экструдер, экструдирование, послойную укладку, твердение напечатанных слоев. Общепризнано, что эффективность и технологичность строительной 3D-печати определяется совокупностью критериальных характеристик смесей: пластичностью для реализации процесса экструзии (extrudability), формоустойчивостью при укладке слоев (buildability), скоростью структурообразования и твердения (structural build-up) [1–5].

В результате накопления массива экспериментальной информации, например [7–13], получена и апробирована достаточная большая номенклатура смесей. Анализ работ показывает, что для строительной 3D-печати используют две группы смесей: грубодисперсные (размер частиц d > 100 мкм) и микродисперсные (размер частиц d ~ 1÷100 мкм). Полученные смеси характеризуются многокомпонентностью, в их составах одновременно используются суперпластификаторы, модификаторы вязкости, регуляторы структурообразования, наполнители и заполнители различного химико-минералогического состава и дисперсности. Однако в настоящее время однозначно не выявлено влияние свойств и концентрации используемых компонентов смесей на их реологическое поведение в условиях 3D-печати.

Авторский подход к моделированию и управлению реологическим поведением вязко-пластичных смесей в процессах 3D-печати и оптимизации их составов основан на положениях структурной реологии дисперсных систем, приоритет теоретического обоснования которых принадлежит советской школе физико-химической механики [14–16]. Исходя из этого, нами в работе [17] обоснованы основные средства управления реологическим поведением вязкопластичных смесей, рассматриваемых как гетерогенные системы «дисперсная фаза + дисперсионная среда». Авторами экспериментально установлено [18–19], что концентрация дисперсной фазы в дисперсионной среде (В/Т-отношение в системе) является определяющим фактором регулирования пластичности и структурной устойчивости смесей. При этом оптимальные значения концентрации дисперсной фазы с определенным компонентным составом для каждой конкретной дисперсной системы в значительной мере определяются характеристиками дисперсионной среды. Показано, что по отношению к дисперсионной среде факторами управления реологией вязкопластичных смесей являются ионный состав, вязкость, плотность дисперсионной среды. В качестве средств их регулирования предложено варьировать виды и дозировки трех групп добавок: электролитов, пластификаторов и модификаторов вязкости как средств из арсенала «нано» [17]. В соответствии с нанотехнологическими принципами «сверху — вниз» и «снизу — вверх»при введении добавок электролитов и ПАВ происходит изменение состояния поверхности твердых частиц дисперсной фазы. Введение добавок-модификаторов вязкости и наномодификаторов определяет изменение пространственно—геометрической и энергетической обстановки в конденсационном объеме дисперсной системы.

Данная статья посвящена обсуждению результатов системной экспериментальной оценки эффективности влияния добавок-модификаторов вязкости на комплекс реологических характеристик модельных цементных систем, рассматриваемых в качестве матриц смесей для 3D-печати.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методика исследований

Исследовались 5 типов цементных систем (табл. 1). В качестве исходных компонентов систем использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5H (ГОСТ 31108-2016), суперпластификатор (СП) торговой марки Sika, добавки-модификаторы вязкости, техническую воду. Концентрация добавок и величины В/Ц в исследованных системах оптимизированы по результатам предыдущего этапа исследований [18-19]. Для оценки реологического поведения вязко-пластичных смесей использованы методы сдавливающей реометрии (squeeze flow rheometry) как инструмента моделирования реологического поведения и идентификации реологических характеристик вязко-пластичных смесей применительно к условиям 3D-печати [1–5]. При реализации экспериментов для сдавливающих тестов использовались цилиндрические образцы цементного теста, радиус которых R был равен их высоте $h_0 = 25$ мм. Испытание проводилось непосредственно после изготовления цементного теста. Для проведения сдавливающих тестов образец помещался между двумя гладкими пластинами, диаметр которых соответствовал размеру образца, и загружался в универсальную напольную гидравлическую испытательную систему «INSTRON Sates 1500 HDS». Для оценки пластичности смесей, определяющей их экструдируемость, реализован сдавливающий тест с постоянной скоростью деформирования v = 5 мм/с в соответствии с методикой,



Таблица 1 Характеристика составов смесей

| | Обозначение
системы | СП, %
от массы
Ц | Модификаторы вязкости | | | |
|--|------------------------|------------------------|--|--|-------------------------|------|
| Состав | | | Тип и характеристика добавки как средства из ар-
сенала «нано» | | ω, %
от мас-
сы Ц | В/Ц |
| цемент—
вода—
СП (эталон) | Ц–В–СП | 0,2 | Органический полимер на основе поликарбоксилатных эфиров. Изменяет состояния поверхности твердых частиц дисперсной фазы | | _ | 0,24 |
| цемент—
вода—СП—
пирофосфат
калия | Ц–В–СП–
ПФК | 0,2 | Неорганическая соль: электролит($K_4P_2O_7$). Изменяет ионный состав дисперсионной среды, состояние поверхности и объема твердых частиц дисперсной фазы, частично вступая с ними во взаимодействие | | 0,2 | 0,23 |
| цемент-
вода-СП-
камедь | Ц–В–СП–К | 0,2 | Неорганический полимер($C_{35}H_{49}O_{29}$)п. Изменяет плотность и вязкость дисперсионной среды, пространственно-геометрическую обстановку в конденсационном объеме системы | | 0,2 | 0,25 |
| цемент—
вода—СП—
метакаолин | Ц–В–СП–
МК | 0,2 | Ультрадисперсный неорганический модификатор, $d \sim 0.2$ мкм $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ | Изменяют простран-
ственно-геометриче-
скую и энергетическую
обстановку в конден- | 2 | 0,25 |
| цемент—
вода—СП—
мел | Ц–В–СП–М | 0,2 | Ультрадисперсный неорганический модификатор, $d \sim 20$ мкм $CaCO_3$ | сационном объеме си- | 5 | 0,27 |

предложенной N. Roussel, C. Lanos [3, 4], наиболее адекватно моделирующей поведение системы в процессе экструзии.

Полученные в процессе испытаний кривые «нагрузка N-перемещение Δ » интерпретировались в виде кривых зависимости приведенной нагрузки F^* от относительного изменения высоты образца h/R.

$$F_i^* = Ph_i / \pi R^2, \tag{1}$$

где $\mathbf{h}_{_{\mathrm{i}}}=(\mathbf{h}_{_{0}}-\Delta),\,\mathbf{h}_{_{0}}$ — начальная высота образца, Δ — перемещение в і-тый момент времени, величина R принималась постоянной и равной радиусу образца в начале испытания.

В первой точке перегиба полученных экспериментальных кривых рассчитывались величина оценки предела пластичности K₍(I) (plastic yield value [3]):

$$K_{i}(h/R) = \sqrt{3}F^{*}/2.$$
 (2)

Для оценки формоустойчивости проводился сдавливающий тест с постоянной скоростью нагружения v = 0.5 H/c, методика проведения обосно-

вана нами [19] на основании подходов [5] к оценке формоустойчивости смесей от последовательно нарастающего давления в процессе послойной 3D-печати. При проведении испытаний сдавливание производилось до разрушения образцов, в процессе опытов фиксировались кривые «перемещение Δ — время t», «нагрузка N-перемещение Δ ». По полученным экспериментальным кривым рассчитывались значения структурной прочности цементных систем в моменты, соответствующие началу деформирования и началу трещинообразования образцов по формуле:

$$\sigma = P/\pi R^2. \tag{3}$$

В результате пластичность и устойчивость смесей в условиях, моделирующих действие сжимающих напряжений при экструзии и послойной укладке, оценивались согласно критериям, обоснованным нами в работе [19]:

- оценка предела пластичности Ki(I),
- структурная прочность σ_0 в момент начала деформирования, характеризует способность си-



стемы сопротивляться деформированию при нагружении,

— пластическая прочность σ_{pl} и величина относительных пластических деформаций Δ_{pl} в момент начала трещинообразования, характеризующие способность системы деформироваться без разрушения.

Результаты экспериментальных исследований

Сдавливающий тест с постоянной скоростью деформирования и пластическое поведение цементных систем

Установлено, что при действии низких сжимающих напряжений структура вязкопластичных смесей сохраняет устойчивость («placing phase» [3]) — первый участок экспериментальных кривых $F^* = f(h_i/R)$ (рис. 1). Сопоставление кривых $F^* = f(h_i/R)$ с классической реологической кривой П.А. Ребиндера [14] позволяет соотнести этот участок с пластическим течением дисперсной системы с неразрушенной структурой. При возрастании напряжений на втором участке система пластически деформируется, а ее структура теряет устойчивость («perfect response phase» [3]).

Данный участок можно соотнести с вязкопластическим течением с интенсивно разрушаемой структурой на кривой П.А. Ребиндера.

Резкое возрастание нагрузки и интенсификация течения на третьем участке связаны с полным разрушением структуры дисперсной системы «цемент + вода».

Полученные экспериментальные $F^* = f(h_i/R)$ кривые можно разделить на три типа. Первый тип имеет выраженный горизонтальный участок пластического деформирования между двумя точками перегиба (система Ц $-B-C\Pi-K$). Для данной системы пластическое течение без разрушения структуры возможно в узком диапазоне действия сдавливающих напряжений $F^* = \sim 3,3 \div 4,0$ к Π a, значение оценки предела пластичности Ki(I) составляет 2,75 к Π a (табл. 2).

Поэтому системы с таким типом реологического поведения недостаточно пластичны для экструзии без разрушения их структуры. Для второго типа кривых не фиксируются ярко выраженные переходы между участками кривой (системы Ц-B-CП, Ц-B-CП-ПФК, Ц-B-CП-MK), значения оценки предела пластичности $K_i(I)$ находятся в диапазоне $0.95 \div 1.28$ кПа.

Такие системы обладают наилучшей способностью к экструзии, вследствие их способности к вязкопластическому течению без разрушения структуры в диапазоне сдавливающих напряжений $F \sim 2,0 \div 4,0$ кПа. Третий тип кривой характерен для систем, структура которых необратимо разрушается в начальный момент нагружения при $F^* < 0,5$ кПа (система Ц—В—СП—М). В результате они теряют

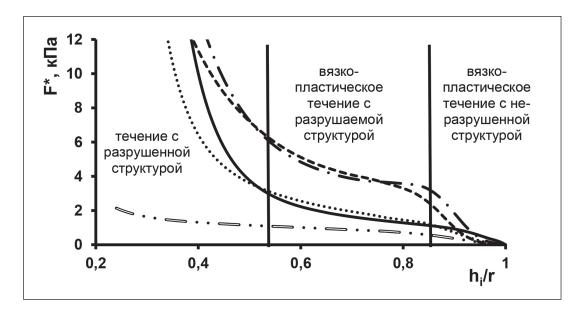


Рис. 1. Кривые зависимости приведенной нагрузки F^* от относительного изменения высоты образца h_i/R для образцов цементного теста в процессе испытаний на сдавливание с постоянной скоростью деформирования. Обозначено: —— Ц—В—СП; …… Ц—В—СП—ПФК; — · Ц—В—СП—К; — — Ц—В—СП—МК; = … = Ц—В—СП—М



 Таблица 2

 Реологические характеристики цементных систем

| Обозначение
системы | Оценка предела пла-
стичности К _i (I), кПа | Структурная прочность σ_0 , к Π а | Пластическая проч-
ность _{Ор!} , кПа | Относительные пластические деформации $\Delta_{\rm pl}$, мм/мм |
|------------------------|--|--|--|---|
| Ц-В-СП | 1,06 | 1,10 | 45,01 | 0,06 |
| Ц-В-СП-ПФК | 0,95 | 1,59 | 45,50 | 0,12 |
| Ц-В-СП-К | 2,76 | 3,71 | 38,02 | 0,08 |
| Ц-В-СП-МК | 1,28 | 3,50 | 34,20 | 0,06 |
| Ц-В-СП-М | 0,56 | 1,29 | 40,02 | 0,12 |

устойчивость, приобретают текучесть, то есть не обладают необходимыми упруго-вязкопластическими свойствами и устойчивостью для экструзии.

Сдавливающий тест с постоянной скоростью нагружения и формоустойчивостью

Анализ полученных экспериментальных кривых « Δ —t» (рис. 2) показывает, что на них выделяются 3 характерных участка.

Первый участок характеризуется отсутствием деформаций при действии нагрузки. Второй участок — это участок пластического деформирования. Третий участок — это участок микротрещинообразования, предшествующий разрушению структуры.

На экспериментальных кривых « $N-\Delta$ » (рис. 3) момент появления микротрещин однозначно фиксируется пиком резкого падения нагрузки.

Для систем с камедью и метакаолином $U-B-C\Pi-K$ и $U-B-C\Pi-MK$ характерно наличие мно-

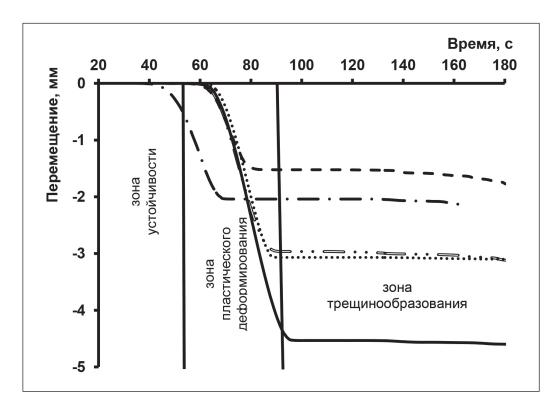


Рис. 2. Кривые «перемещение Δ — время t» для образцов цементного теста в процессе испытаний на сдавливание с постоянной скоростью нагружения. Обозначено: —— Ц—В—СП; …… Ц—В—СП—ПФК; — • Ц—В—СП—К; —— Ц—В—СП—МК; = \cdots = Ц—В—СП—М



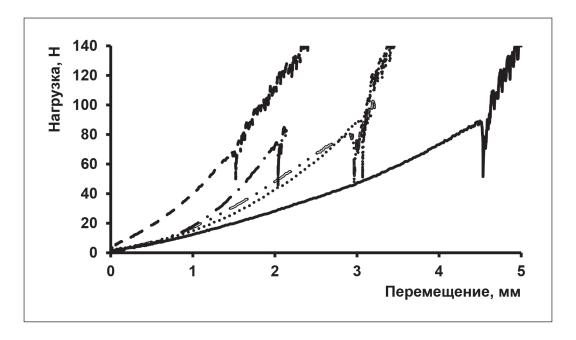


Рис. 3. Кривые «нагрузка N — перемещение Δ » для образцов цементного теста в процессе испытаний на сдавливание с постоянной скоростью нагружения. Обозначено: —— Ц—В—СП; …… Ц—В—СП—ПФК; —— : Ц—В—СП—К; —— : Ц—В—СП—М; = … = Ц—В—СП—М

жественных пиков колебаний нагрузки на кривых « $N-\Delta$ » (рис. 3), свидетельствующих о наличии довольно длительного промежутка между моментом появления первых микротрещин и разрушением. Для этих систем характерна самая высокая структурная прочность σ₀ и минимальные пластические деформации (см. рис. 2, 3, табл. 2), наименьшие значения пластической прочности σ_{nl} , то есть они лучше всего способны сопротивляться деформированию при нагружении. При введении пирофосфата калия и мела (системы Ц-В-СП-П Φ К и Ц-В-СП-М) не зафиксировано существенного изменения структурной и пластической прочности, но в 2 раза возрастает величина пластических деформаций по сравнению с эталонной системой Ц-В-СП без модификаторов вязкости.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Введение ПАВ и модификаторов вязкости различной природы в гетерогенно-дисперсную систему «цемент + вода» влияет на поверхностные явления на границе раздела фаз и молекулярные взаимодействия между твердыми частицами. Так, ранее было установлено [21], что при введении суперпластификаторов в соответствии с нанотехнологическим принципом «сверху — вниз» изменяется состояние поверхности твердых частиц дисперсной фазы. Достигаемое снижение энергии взаимодействия частиц цемента способствует нарастанию пластичности си-

стемы и переход ее в текучее состояние при низких значениях приведенной нагрузки F^* (см. рис.1, система Π –B– $C\Pi$).

Добавки пирофосфата калия, метакаолина и мела, действуя в соответствии с нанотехнологическим принципом «снизу - вверх», изменяют пространственно-геометрическую и энергетическую обстановку в конденсационном объеме дисперсной системы. Пирофосфат калия в комплексе с СП еще более пластифицирует систему за счет участия его в обменных химических реакциях с частицами дисперсионной фазой. Его анионная составляющая взаимодействует с фазами цементного клинкера с образованием труднорастворимых солей гидратов, а катионная составляющая сохраняется в жидкой фазе, повышая щелочность среды и ионную силу раствора, что повышает текучесть системы Ц-В-СП-ПФК. Частицы метакаолина и мела способны к формированию полимолекулярных слоев адсорбированной воды на их развитой и активной поверхности. Поэтому при их введении происходит снижение энергии взаимодействия частиц цемента за счет наличия в межзерновом объеме частиц, покрытых толстыми слоями адсорбированной воды. В результате это способствует нарастанию пластичности системы. Рост структурной прочности вязко-пластичной системы Ц-В-СП-МК может быть обусловлен структурирующим действием наночастиц метакаолина на дисперсионную среду. При ведении мела потеря устойчивости и повышение текучести



системы Ц—В—СП—М связаны с тем, что размер частиц мела значительно превышает критический размер частиц для данной гетерогенной дисперсной системы, приводя к агломерации частиц и потере агрегативной устойчивости. Камедь является инертным компонентном по отношению к дисперсной фазе. В соответствии с нанотехнологическим принципом «сверху — вниз» данная добавка влияет только на свойства дисперсионной среды, повышая ее плотность и вязкость. В итоге увеличивается структурная прочность системы, но в силу структурирования жидкой фазы резко понижается ее пластичность, повышается жесткость и формоустойчивость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прикладные инженерные решения по управлению реологией смесей для 3D-печати могут быть основаны на комплексном использовании хими-

ческих добавок электролитов, пластификаторов и модификаторов вязкости как средств из арсенала «нано». Применение электролитов, ультрадисперсных адсорбционно-активных неорганических модификаторов, изменяющих ионную силу раствора и пространственно-геометрическую и энергетическую обстановку в конденсационном объеме дисперсной системы, является фактором повышения пластичности цементных систем. Введение неорганических модификаторов наноразмерного диапазона дисперсности способствует одновременно повышению структурной прочности и, соответственно, формоустойчивости цементных систем к действию нагрузки в процессе печати конструкций. Введение инертных по отношению к цементу неорганических полимеров, изменяющих плотность и вязкость дисперсионной среды, позволяет повысить структурную прочность смесей, но существенно снижает их пластичность.

REFERENCES

- 1. Engmann J., Servais C., Burbidge A.S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. -2005. -132(1-3). Pp. 1-27.
- 2. Russel N., Lanos C. Plastic Fluid Flow Parameters Identification Using a Simple Squeezing Test // Applied Rheology. -2003. -13(3). Pp. 3 5.
- 3. 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 Re-search. -2005. -35(10). Pp. 1891-1899.
- 4. Perrot A., Mélinge Y., Rangeard D., et al. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate // Rheologica Acta. Springer Verlag. 2012. 51(8). Pp. 743—754.
- 5. Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques // Materials and Structures. 2016. 49. Pp. 1213–1220.
- 6. Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., et al. Modified 3D printed powder to cement-based mate-rial and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing // Construction and Building Materials. 2017. V. 138. Pp. 398—409.
- 7. Tay Y.W., Panda B, Chandra S., et al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing // Materials Science Forum. -2016.-V.861.-Pp.177-181.
- 8. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., et al. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2018. 18(1). Pp. 311–319.
- 9. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges // Composites Part B: Engineering. -2018. V. 143. Pp. 103-110.
- 10. Weng Y., Li M., Qian S., et al. Design 3D printing cementitious materials via Fuller Thompson theory and Marson-Percy model // Construction and Building Materials. 2018. V. 163. Pp. 600–610.
- 11. Malaeb Z., Hachem H., Tourbah A., et al. 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design // International Journal of Civil Engineering and Technology. -2015. -6(4). Pp. 14-22.
- 12. Kazemian A., Yuan X., Cochran E., et al. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture // Construction and Building Materials. -2017.-V. 145. -Pp. 639–647.
- 13. Le T.T., Austin S.A., Lim S., et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete // Materials and Structures. -2012.-45(8).- Pp. 1221-1232.
- 14. Rebinder P.A. Selected works. Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics. Moscow: Ed. The science, 1979. 381 c. (In Russian).
- 15. Uryev N.B. Physico-chemical dynamics of structured nanodispersed systems and nanodispersed composite materials. Part 1 // Physicochemistry of the surface and protection of ma-terials. − 2010. − Vol. 46, № 1. − C. 3−23. (In Russian).



- 16. Uryev N.B. Highly concentrated disperse systems. Moscow: Ed. Chemistry, 1980. 319 c. (In Russian).
- 17. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. The rheological behavior of disperse systems for 3D print-ing in construction: the problem of control and possibility of «nano» tools application. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 3, pp. 107–122. DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-3-107-122. (In Russian).
- 18. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation // Magazine of Civil Engineering. 2018. 08(84). Pp. 97–108.
- 19. Slavcheva G.S., Shvedova M.A., Babenko D.S. Analysis and criterial evaluation of the rheological behavior of mixtures for construction 3D-printing // Stroitel'nyeMaterialy. 2018. 12. Pp. 34–40. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Engmann J., Servais C., Burbidge A.S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. -2005. -132(1-3). Pp. 1-27.
- 2. Russel N., Lanos C. Plastic Fluid Flow Parameters Identification Using a Simple Squeezing Test // Applied Rheology. -2003. -13(3). Pp. 3 5.
- 3. 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 Re-search. 2005. 35(10). Pp. 1891–1899.
- 4. Perrot A., Mélinge Y., Rangeard D., et al. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate // Rheologica Acta. Springer Verlag. 2012. 51(8). Pp. 743—754.
- 5. Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques // Materials and Structures. 2016. 49. Pp. 1213–1220.
- 6. Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., et al. Modified 3D printed powder to cement-based mate-rial and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing // Construction and Building Materials. 2017. V. 138. Pp. 398—409.
- 7. Tay Y.W., Panda B, Chandra S., et al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing // Materials Science Forum. 2016. V. 861. Pp. 177–181.
- 8. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., et al. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction // Archives of Civil and Mechanical Engineering. -2018. -18(1). -Pp. 311-319.
- 9. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges // Composites Part B: Engineering. 2018. V. 143. Pp. 103–110.
- 10. Weng Y., Li M., Qian S., et al. Design 3D printing cementitious materials via Fuller Thompson theory and Marson-Percy model // Construction and Building Materials. -2018.-V.163.-Pp.600-610.
- 11. Malaeb Z., Hachem H., Tourbah A., et al. 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design // International Journal of Civil Engineering and Technology. $-2015.-6(4).-Pp.\ 14-22.$
- 12. Kazemian A., Yuan X., Cochran E., et al. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture // Construction and Building Materials. -2017.-V. 145. -Pp. 639–647.
- 13. Le T.T., Austin S.A., Lim S., et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete // Materials and Structures. 2012. 45(8). Pp. 1221–1232.
- 14. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 381 с.
- 15. Урьев Н.Б. Физико-химическая динамика структурированных нанодисперсных систем и нанодисперсных композиционных материалов. Часть 1 // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46, № 1. С. 3—23. 16. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. М.: Химия, 1980. 319 с.
- 17. Славчева Г.С., Артамонова О.В. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3d-печати: проблема управления и возможности арсенала «нано» // Нанотехнологии в строительстве. -2018. Tom 10, № 3. C. 107—122. DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-3-107-122.
- 18. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation // Magazine of Civil Engineering. $-2018.-08(84).-Pp.\ 97-108.$
- 19. Славчева Г.С., Шведова М.А., Бабенко Д.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати // Строительные материалы. 2018. 12. С. 34—40.

http://nanobuild.ru 333 info@nanobuild.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Galina S. Slavcheva, Dr. of Tec. Sci., Professor of Department of Technology of Building Materials, Products and Construction, Voronezh State Technical University; 20-letiya Oktayabrya St., 84, Voronezh, Russia, 394006, e-mail: gslavcheva@yandex.ru;

Olga V. Artamonova, Ph. D. in Chemistry, Assoc. Prof. of Department of Chemistry and chemical technology of materials, Voronezh State Technical University; 20-letiya Oktayabrya St., 84, Voronezh, Russia, 394006, e-mail: ol_artam@rambler.ru

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Славчева Галина Станиславовна, д.т.н., профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, д. 84, Воронеж, Россия, 394006, e-mail: gslavcheva@yandex.ru

Артамонова Ольга Владимировна, к.х.н., доцент кафедры химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, д. 84, Воронеж, Россия, 394006, e-mail: ol artam@rambler.ru

CONTACTS / KOHTAKTЫ

e-mail: ol_artam@rambler.ru



DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350

UDC 614.841

Modeling of oil reservoirs heat losses by nanodimensional cellular automata

Authors:

Igor R. Baikov,

Ufa State Petroleum Technological University; Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Doctor of Technical Sciences, Professor, Full member of Academy of Mining Engineering, pte.ugntu@rusoil.net

Olga V. Smorodova,

Ufa State Petroleum Technological University; Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, olga smorodova@mail.ru

Sergey V. Kitaev,

Ufa State Petroleum Technological University; Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Full member of International Academy of Engineering, Professor, svki-taev@mail.ru

Elena V. Kuznetsova,

Ufa State Petroleum Technological University; Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, nsp-rb@mail.ru

Dinara T. Gizatullina,

Ufa State Petroleum Technological University; Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Undergraduate Student, dinara.giz@inbox.ru

Abstract: The oil and gas industry plays a crucial role in the Russian economy. One of the ways to increase its energy efficiency is to reduce unproductive losses. Losses of oil and petroleum products occur at all stages of the oil and gas complex from hydrocarbon extraction to processing and transfer to secondary product consumers. Unavoidable losses in the system are caused by losses of oil and oil products from evaporation during excessive heating by solar radiation during storage in tank farms. In the cold season, intensive external cooling with outside air leads to increased product viscosity and increased cost of electricity for its transfer. To avoid such situations, strict maintenance of the temperature regime of the reservoir by minimizing external heat gains and its own heat losses is re-quired.

The article describes the simulation of heat transfer through the heat-insulated wall of the oil reservoir of one of the linear main station of oil pumping. The construction of the temperature graph through the outer fence is performed by the method of nanoscale cells of cellular automaton. The simulation was carried out for three dimensions of the field of cells. It is shown that for the task, the optimal structure is a field of 560 simulation cells.

Keywords: thermal conductivity, thermal insulation, cellular automaton, modeling, temperature field.

For citation: Baikov I.R., Smorodova O.V., Kitaev S. V., Kuznetsova E.V., Gizatullina D.T. Modeling of oil reservoirs heat losses by nanodimensional cellular au-tomata. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 335–350. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

https://i.creativecommons.org/l/by/4.0/88x31.png" />
https://stype">
https://stype">
hodeling of oil reservoirs heat losses by nanodimensional cellular au-tomata</pan>by a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#"href=".Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 335–350. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350"property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Baikov I.R., Smorodova O.V., Kitaev S. V., Kuznetsova E.V., Gizatullina D.T. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License<a><a rmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-3-2019/
a>
<a rmlns:dct="http://creativecommons.org/ns#" href="olga_smorodova@mail.ru"rel="cc:morePermissions">olga_smorodova@mail.rurel="cc:morePermissions">style="border-width:0" style="border-width:0" st

Статья поступила в редакцию: 03.04.2019. Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.04.2019. Статья принята к публикации: 08.05.2019.

2019; 11 (3): 335-350



NANOTECHNOLOGIES IN POWER ENGINEERING • НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Моделирование теплопотерь нефтяных резервуаров методом наноразмерных клеточных автоматов

Авторы:

Байков Игорь Равильевич,

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; Россия, г.Уфа, Республика Башкортостан, д-р техн. наук, проф., действительный член Академии горных наук, pte.ugntu@rusoil.net

Смородова Ольга Викторовна,

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; Россия, г.Уфа, Республика Башкортостан, канд. техн.наук, доцент, olga_smorodova@mail.ru

Китаев Сергей Владимирович,

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; Россия, г.Уфа, Республика Башкортостан, д-р техн. наук, доцент, действительный член Международной инженерной академии, профессор, svkitaev@mail.ru

Кузнецова Елена Викторовна,

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; Россия, г.Уфа, Республика Башкортостан, канд. техн.наук, доцент, nsp-rb@mail.ru

Гизатуллина Динара Тагировна,

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; Россия, г.Уфа, Республика Башкортостан, студент бакалавриата, dinara.giz@inbox.ru

Резюме: Нефтегазовая отрасль играет важнейшую роль в экономике России. Одним из способов повышения ее энергетической эффективности является снижение непроизводительных потерь. Потери нефти и нефтепродуктов происходят на всех этапах нефтегазового комплекса от месторождений добычи углеводородного сырья до переработки и передачи потребителям вторичного продукта. Неизбежные убытки системе наносят потери от испарения при чрезмерном нагреве солнечной радиацией при хранении в резервуарных парках. В холодное время года интенсивное внешнее охлаждение наружным воздухом приводит к повышению вязкости продукта и росту затрат электроэнергии на его перекачку. Для исключения возникновения таких ситуаций требуется строгое ведение температурного режима резервуара минимизацией внешних теплопоступлений и собственных теплопотерь.

В статье рассмотрено моделирование теплообмена через теплоизолированную стенку нефтяного резервуара одного из резервуарных парков центрального пункта сбора нефти северного месторождения России. Построение температурного графика через наружное ограждение выполнено методом наноразмерных ячеек асинхронного клеточного автомата. Моделирование проведено для трех размерностей КА-поля. Показано, что для поставленной задачи оптимальной является структура поля в 560 ячеек моделирования.

Ключевые слова: теплопроводность, тепловая изоляция, клеточный автомат, моделирование, температурное поле.

Для цитирования: Байков И.Р., Смородова О.В., Китаев С.В., Кузнецова Е.В., Гизатуллина Д.Т. Моделирование теплопотерь нефтяных резервуаров методом наноразмерных клеточных автоматов // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 3. – С. 335–350. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

/><a>hr/><a>e>r/><a>e>r/http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/terms/" property="dct:title" rel="dct:type">Modeling of oil reservoirs heat losses by nanodimensional cellular au-tomatapan> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href=".Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 3, pp. 335–350. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-335-350" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Baikov l.R., Smorodova O.V., Kitaev S. V., Kuznetsova E.V., Gizatullina D.T. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<a>href="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild-ru/en_EN/nanobuild-ru/en_EN/nanobuild-3-2019/" rel="dct:source">http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild-ru/en_EN/nanobuild-3-2019/
a>.
br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="olga_smorodova@mail.ru" rel="cc:morePermissions">olga_smorodova@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 03.04.2019. Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.04.2019. Статья принята к публикации: 08.05.2019.



INTRODUCTION

Currently, steel cylindrical vertical tanks are widely used for the storage of oil and oil products. They are the most important and integral part of the country's oil parks [1, 2]. High evaporation of petroleum and petroleum products leads to their significant storage losses [3, 4].

In the process of oil evaporation, a part of light hydrocarbons passes into a gaseous state, as a result of which a natural mass loss of the product occurs. The norms stipulate only a quantitative change, whereas during evaporation the qualitative composition of stored oil also changes. At natural pumping and handling temperatures during evaporation, light hydrocarbons of fraction 200 (up to and including hexanes), which are components of motor gasoline, are lost first of all. This reduces the quality of oil according to the «distillation» model, which takes into account the presence of light fractions in oil [5].

The intensity of oil evaporation, in addition to the technological regime with a change in the level of tank infusion [6], is determined by its temperature. In the conditions of the Russian north, when working with highly viscous oil, technological tanks of liquid and oil are equipped with thermal insulation [7]. Mineral wool (MW), polyurethane foam (PPU), stone wool (SW) are most widely used as a thermal insulation material. It should be noted that the heat-shielding properties of these materials at the initial stage of operation are at a comparable level (Fig. 1a). The practical choice is determined by other technological properties of thermal insulation — reliability, durability, flammability, etc. In par-ticular, the most common mineral wool has the worst thermal insulation properties of all materials

(Fig. 1a) and insufficient wear resistance due to increased crushability (Fig. 1b).

Polyurethane foam, despite its wide application at the facilities of the main oil transportation for engineering communications, has some flammability (group G2, G3 according to GOST 12.1.044-89 «Explosive and fire hazard of substances and materials») and therefore cannot be recommended without compromising the reliability and safety of reservoir hydrocarbon parks. The best thermal insulation for hazardous production facilities is stone wool (SW-thermal insulation).

MAIN PART

Development of one-dimensional model of thermal conductivity by the method of cellular automata (CAmodeling)

Practical management of the thermal regime of an oil reservoir is possible on the basis of modeling temperature conditions according to the results of monitoring the thermodynamic parameters of oil and the enclosing structures of the reservoirs. The article deals with the problem of modeling the temperature distribution in a cross-section of external fences of oil tanks. The solution is made on the basis of operational technological data of the reservoir parks of the northern fields of Russia. Calculations in the course of the development of temperature models were carried out for SW-thermal insulation.

The authors of [8, 9, 10, 11, 12] recommended the method of cellular automata to simulate thermal conductivity in the enclosing walls of technological facilities. In recent works [13, 14], using the CA-simulation, biological, physical, information processes are

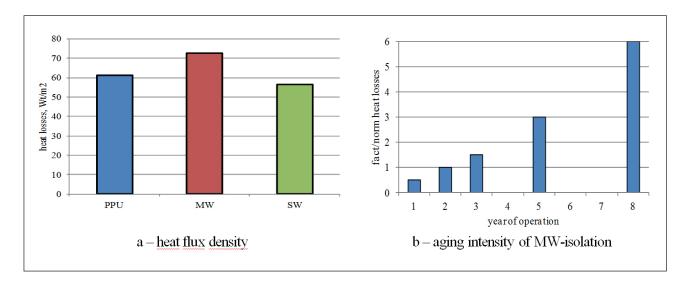


Fig. 1. Characteristics of oil tanks thermal insulation materials



simulated. This approach is especially productive when classical models are multifactorial differential structures [15].

The basis of the cellular automaton simulation is a discrete model — a regular grid of cells, for each of which a finite set of states is defined [16]. For each cell, a cell neighborhood is defined. At the same time, the initial states of all cells and the rules for their change are specified. Such method makes it possible to investigate the local mechanisms of the simulated system at the nanolevel [17].

The implementation of the CA-modeling was carried out for the tanks of the most common sizes $-5000~\text{m}^3$, $10000~\text{m}^3$ and $20000~\text{m}^3$. The ratio of tank wall thickness to diameter at a level of from 0,0005~m/m to 0,0009~m/m allows modeling in a one-dimensional format. To simulate the temperature behavior in a transverse section of external enclosures, nanoscale cells of a discrete temperature state were selected as local elements [18]. In this case, each cell is a trace element of the material - a «coarse-grained» substance.

According to the theory of finite state automation [19], the state of an individual cell at each time step changes in accordance to the transition function:

$$z(t_{i}) = \varphi[z(t_{i-1}), \overline{x}(t_{i-1})], \tag{1}$$

where $z(t_j)$ – cell state at time t_j ; $\overline{x}(t_{i-1})$ – previous input vector.

Let's consider a one-dimensional heat conduction problem, where a multi-layer outer barrier of an oil reservoir will act as an object, on the left border of which a thermal impulse is localized at the initial time [20]. We divide the enclosing surface into elements (cells) with the same step h and identify the state of the cell with its temperature T. The input signals simulate the process of transfer of thermal energy from neighboring cells and from the source of heat. For the case in question, the one-step transition function of the i-th cell is written as [21]:

$$T_{i}(t_{i+1}) = T_{i}(t_{i}) + (\Delta t/C \cdot \rho) \cdot [q_{i-1}(t_{i}) + q_{i+1}(t_{i}) + \gamma(t_{i})], \quad (2)$$

$$\boldsymbol{q}_{i-1} = \lambda \, \frac{(T_{i-1}(t_j) {-} T_i(t_j)}{h^2},$$

$$q_{i+1} = \lambda \frac{(T_{i+1}(t_j) - T_i(t_j)}{h^2},$$
(3)

where $T_i(t_j)$ – temperature of the i-th cell at time t_j ; Δt – time step;

C, λ and ρ — heat capacity, coefficient of thermal conductivity and density of the cell material, respectively; $q_{i-1}(t_j)$ μ $q_{i+1}(t_j)$ — specific heat flow rates from neighboring cells;

 $\gamma(t_j)$ – power density of the heat source at the j-th moment of time.

The modeling process is reduced to determining the states of cellular automata at each step of discrete time [22]. In addition, each machine operates according to a specific algorithm. For internal cells of the reservoir wall, the transition function of the form (2)–(3) is used. For the external boundaries of thermal insulation, these dependences are modified on the basis of the hypothesis of a zero temperature gradient at these points (equality of heat fluxes from neighboring cells).

Under the conditions of practical implementation, one-dimensional modeling based on cellular automata is a sequence of iterative CA-interactions of the asynchronous type. Each iteration cycle involves the implementation of the following procedures:

- 1. On the CA-field, a cell i = 1 is randomly identified with the x1 coordinate. All cells have equal probability of identification.
- 2. The neighboring cell i = 2 with the x2 coordinate is randomly selected according to the neighborhood scheme from the Neumann neighborhood (the cell has only two neighbors, Fig. 2).

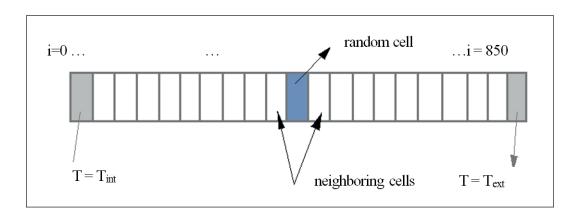


Fig. 2. The cell structure of the enclosing wall of the tank



3. Implemented CA-interaction between the selected cells. The meaning of interactions is to recalculate the temperature values of the insulating material of the reservoir in the cells of the simulation field according to equations (2)–(3), which are a cellular-automatic analogue of the thermal conductivity process [9].

In the simplest case of stationary heat conduction, the one-step transition function of the i-th cell is calculated by the formula:

$$T_{i}^{j+1} = \lambda_{i}^{} T_{i}^{j} + \lambda_{i+1}^{} T_{i+1}^{j} / \lambda_{i}^{} + \lambda_{i+1}^{},$$

where j+1 – iteration number;

 T_{i+1}^{j} – new steady-state temperature in a random cell;

 T_i^{j} — initial temperature in the same cell; λ_i — coefficient of thermal conductivity of the material

in this cell; T^{j}_{i+1} – temperature of one of the randomly selected neighboring cells;

 λ_{i+1} — coefficient of thermal conductivity of the material selected adjacent cells.

As applied to the particular case of modeling the temperature mode in the tank wall, the problem is formulated as follows. The oil tank is covered with thermal insulation made of basalt fiber mineral wool — stone wool (SW). From the inner side, a layer of paraffin deposits is formed on the tank walls. The main characteristics of the tank fences are shown in Table 1.

The results of the simulation of one-dimensional field of 850 cells, within the error of the cellular automaton «noise», are shown in Fig. 3.

CA-simulation optimization

Obviously, to ensure the adequacy of the simulation results to the actual process, the dimension of the model field should be taken as large as possible. However, this will inevitably increase the duration of modeling, even with the use of modern high-speed computing equipment [9, 11].

To assess the degree of influence of the number of CA on the result of temperature modeling, we constructed

Table 1
Technical characteristics of the external fences of the tank

| No | Layer name | Thickness | Coefficient of thermal conductivity | Number of cells |
|----|-----------------------|-----------|-------------------------------------|-----------------|
| | | mm | Wt/(m ² K) | pieces |
| 1 | Sediments | 1 | 0,4 | 10 |
| 2 | Steel sheet | 24 | 52,0 | 240 |
| 3 | Thermal SW insulation | 60 | 0,032 | 600 |
| | TOTAL | 85 | | 850 |

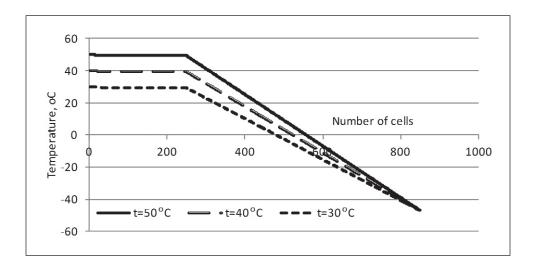


Fig. 3. Model temperature lines for three thermal modes of the tank: $t_{int} = 30^{\circ}\text{C}$, $t_{int} = 40^{\circ}\text{C}$, $t_{int} = 50^{\circ}\text{C}$



models for three cases of field dimensions. On the basis of previously conducted computational experiments, 17, 85, and 850 cellular automaton were selected by layer thickness. The layer of thermal insulation was taken as a layer, since in the metal wall of the tank, the temperature changes slightly and its dynamics are of no practical interest. The simulation results are shown in Fig. 4.

Absolute deviations of the model temperature from the calculated analytically are shown in Fig. 5.

The assessment of the quality of the constructed model was carried out by the magnitude of the standard deviation of the model temperature from the analytically calculated temperature (Fig. 6).

The simulation results showed that in the considered problem, the standard deviation σ is related to the dimension of the cellular automaton field N by the dependence of the form

$$\sigma = 28,75 \times N^{-0,386}. \tag{4}$$

The choice of the necessary and sufficient dimensionality of the cellular automaton field is the main

step in the simulation. Assigning the field dimension at an optimal level minimizes time costs and at the same time provides the required accuracy of the results. From Fig. 6, it can be seen that as the CA-field dimension increases, the root-mean-square error in temperature modeling monotonously decreases. However, the concomitant increase of comparison pairs in the structure of a spacecraft leads to a significantly increased modeling time and, consequently, decreased efficiency of obtaining results. This is a significant drawback in the production monitoring of the field equipment operating mode.

The optimal solution should be made on the basis of the accuracy of the in-struments used to monitor the temperature of the medium in the tank and on the surface of the insulating layer. As a rule, chromel-copel (HC) thermocouples are used to measure temperatures in the range $(-100; +100)^{\circ}$ C. In this temperature range, the permissible absolute error of instrumental control is $\pm 2,5^{\circ}$ C.

Using equation (4), it was found that to ensure such accuracy, the dimension of the spacecraft with the number of simulation cells N = 560 is sufficient (Fig. 6).

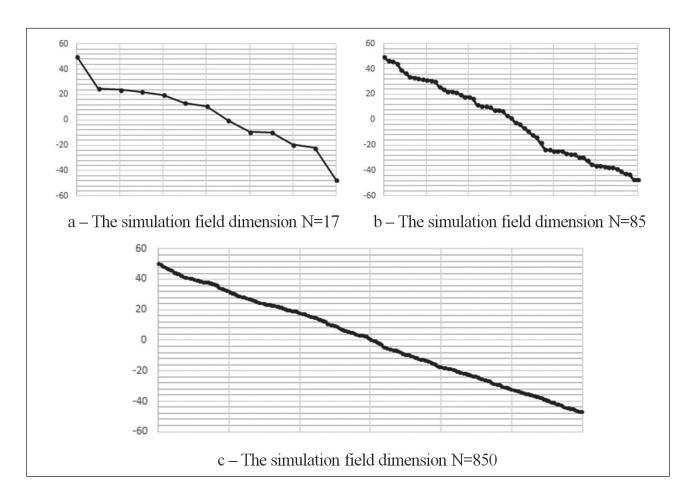
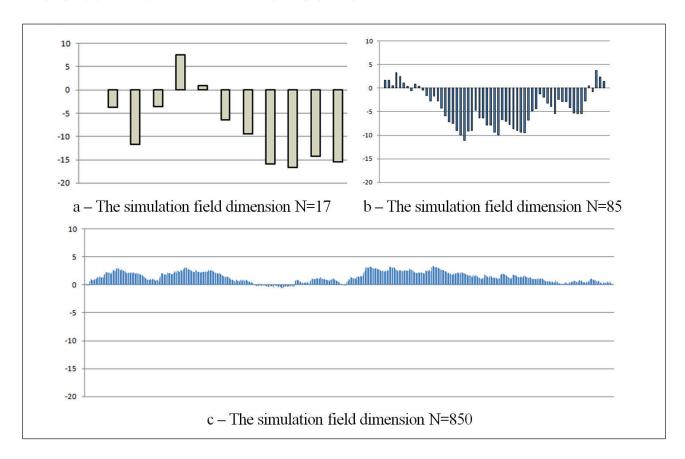


Fig. 4. Results of modeling the temperature distribution across the thickness of the thermal insulation of the tank depending on CA-dimension, °C





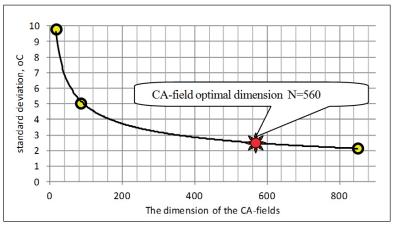


Fig. 5. Difference of model and analytically determined temperature through the thickness of the thermal insulation of the tank depending on the CA-dimension, °C

Fig. 6. Dependence of modeling accuracy on the CA-field dimension

CONCLUSION

- An alternative numerical method for solving heat conduction problems is considered. The temperature distribution in the outer insulating layer of the reservoir in the conditions of the Russia Extreme North f was obtained by the method of spacecraft modeling. It is shown that the standard deviation of the model 1,7°C is provided by the dimension of the CA-field at the level of N = 850 cells.
- Conducting a virtual experiment on modeling thermal conductivity in an insulating layer made it possible
- to identify the power dependence of the mod-eling accuracy on the dimension of the CA-field for oil reservoirs in the parks of the central collection points of the northern oil fields. It is determined that the obtained dependence is characterized by the accuracy at the level of 0.99.
- 3. It is shown that for the use of CA-modeling in industrial monitoring of operating modes of oil tank farms, the dimension of the CA-field N = 560 cells is optimal from the point of view of accuracy and efficiency of obtaining results.



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для хранения нефти и нефтепродуктов широко используются стальные цилиндрические вертикальные резервуары, которые являются важнейшей и неотъемлемой частью нефтепарков страны [1, 2]. Высокая испаряемость нефти и нефтепродуктов приводит к их значительным потерям при хранении [3, 4].

В процессе испарения нефти часть легких углеводородов переходит в газообразное состояние, в результате чего происходит естественная массовая убыль продукта. Нормами предусмотрено лишь количественное изменение, тогда как при испарении изменяется и качественный состав хранимой нефти. При естественных температурах перекачки и перевалки при испарении в первую очередь теряются легкие углеводороды фракции 200 (до гексанов включительно), являющиеся компонентами автомобильных бензинов. Это снижает качество нефти по «дистилляционной» модели, учитывающей наличие в нефти светлых фракций [5].

Интенсивность испарения нефти кроме технологического режима с изменением уровня взлива резервуара [6] определяется ее температурой. В условиях российского севера при работе с высоковязкой нефтью технологические резервуары жидкости и нефти оснащены тепловой изоляцией [7]. В качестве теплоизоляционного материала наиболее широко используются минеральная вата (МВ), пенополиуретан (ППУ), каменная вата (КВ). Следует отметить, что теплозащитные свойства названных материалов на первоначальном этапе эксплуатации находятся на сопоставимом уровне (рис. 1а). Практический выбор определяется прочими тех-

нологическими свойствами тепловой изоляции — надежностью, долговечностью, горючестью и пр. В частности, наиболее распространенная минеральная вата обладает худшими из всех названных материалов теплозащитными свойствами (рис. 1а) и недостаточной износостойкостью из-за повышенной сминаемости (рис. 1б).

Пенополиуретан, несмотря на широкое применение на объектах магистрального транспорта нефти для инженерных коммуникаций, обладает некоторой горючестью (группа Г2, Г3 по ГОСТ 12.1.044-89 «Взрывопожароопасность веществ и материалов»), и потому не может быть рекомендован без ущерба надежности и безопасности резервуарных парков углеводородов. Оптимальной тепловой изоляцией для опасных производственных объектов является каменная вата (КВ-тепловая изоляция).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Построение одномерной модели теплопроводности методом клеточных автоматов

Практическое управление тепловым режимом нефтяного резервуара возможно на основе моделирования температурных условий по результатам мониторинга термодинамических показателей нефти и ограждающих конструкций резервуаров. В статье рассмотрена задача моделирования распределения температур в поперечном срезе наружных ограждений нефтяных резервуаров. Решение выполнено на основе эксплуатационных технологических данных резервуарных парков северных месторождений России. Расчеты при разработке температурных моделей проведены для КВ-тепловой изоляции.

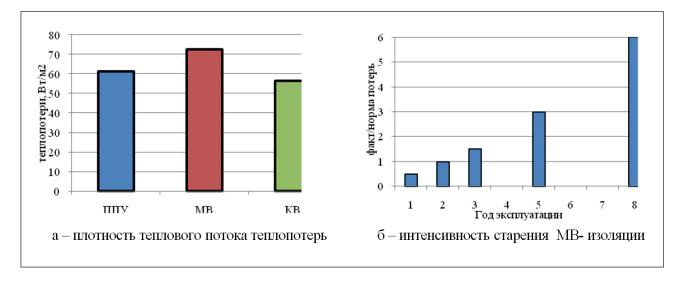


Рис. 1. Характеристики материалов для тепловой изоляции резервуаров нефти



Авторами работ [8, 9, 10, 11, 12] для симуляции теплопроводности в ограждающих стенках технологических сооружений рекомендуется метод клеточного автомата. В последних работах [13, 14] с помощью КА-моделирования симулируются биологические, физические, информационные процессы. Такой подход особенно продуктивен в том случае, когда классические модели представляют собой многофакторные дифференциальные структуры [15].

Основой клеточно-автоматного моделирования служит дискретная модель — регулярная решетка ячеек, для каждой из которых определено конечное множество состояний [16]. Для каждой клетки определена клеточная окрестность. При этом задаются начальные состояния всех ячеек и правила их смены. Такой метод позволяет исследовать локальные механизмы моделируемой системы на наноуровне [17].

Реализация КА-моделирования проведена для резервуаров самых распространенных типоразмеров — 5000 м³, 10000 м³ и 20000 м³. Величина отношения толщины стенки резервуаров к диаметру на уровне от 0,0005 до 0,0009 м/м позволяет вести моделирование в формате плоской задачи. Для имитирования температурного поведения в поперечном срезе наружных ограждений в качестве локальных элементов были выделены наноразмерные ячейки дискретного температурного состояния [18]. В этом случае каждая ячейка-клетка представляет собой микроэлемент материала — «крупнозернистое» вещество.

Согласно теории конечных автоматов [19], состояние отдельной клетки на каждом шаге по времени изменяется в соответствии с функцией переходов:

$$z(t_{j}) = \varphi[z(t_{j-1}), \overline{x}(t_{j-1})], \tag{1}$$

где $z(t_j)$ — состояние клетки в момент времени t_j ; $\overline{X}(t_{j-1})$ — вектор входных сигналов в предыдущий момент.

Рассмотрим одномерную задачу теплопроводности, где в качестве объекта будет выступать многослойное наружное ограждение нефтяного резервуара, на левой границе которого в начальный момент времени локализован тепловой импульс [20]. Разобъем ограждающую поверхность на элементы (клетки) с одинаковым шагом h и отождествим состояние клетки с ее температурой Т. Входные сигналы моделируют процесс передачи тепловой энергии от соседних клеток и от источника теплоты. Для рассматриваемого случая одношаговая функция переходов i-й клетки запишется так [21]:

$$T_{i}(t_{i+1}) = T_{i}(t_{i}) + (\Delta t/C \cdot \rho) \cdot [q_{i+1}(t_{i}) + q_{i+1}(t_{i}) + \gamma(t_{i})], \quad (2)$$

$$q_{i-1} = \lambda \frac{(T_{i-1}(t_j) - T_i(t_j)}{h^2},$$

$$q_{i+1} = \lambda \frac{(T_{i+1}(t_j) - T_i(t_j)}{h^2},$$
(3)

где $T_{i}(t_{j})$ — температура i-й клетки в момент времени t_{i} ;

 Δt — шаг по времени;

C, λ и ρ — теплоемкость, коэффициент теплопроводности и плотность материала клетки, соответственно;

 ${\bf q}_{{}_{{\rm i}-{\rm l}}}({\bf t}_{{}_{{\rm j}}})$ и ${\bf q}_{{}_{{\rm i}}}{}^{+}{\bf 1}({\bf t}_{{}_{{\rm j}}})$ — удельные мощности тепловых потоков от соседних клеток;

 $\gamma(t_{j})$ — удельная мощность источника теплоты в j-й момент времени.

Процесс моделирования сводится к определению состояний клеточных автоматов на каждом шаге дискретного времени [22]. При этом каждый автомат функционирует по определенному алгоритму. Для внутренних клеток стенки резервуара используется функция переходов вида (2)—(3). Для внешних границ тепловой изоляции данные зависимости

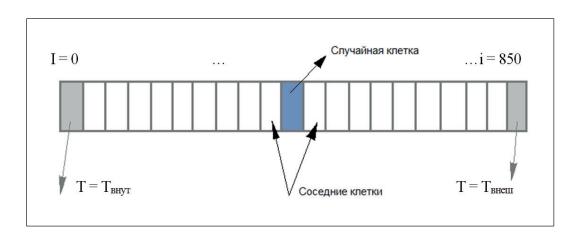


Рис. 2. Клеточная структура ограждающей стенки резервуара



модифицированы, исходя из гипотезы о нулевом градиенте температуры в данных точках (равенство тепловых потоков от соседних клеток).

В условиях практической реализации одномерное моделирование на основе клеточных автоматов представляет собой последовательность итерационных клеточно-автоматных взаимодействий асинхронного типа. Каждый итерационный цикл предусматривает реализацию следующих процедур:

- 1. На КА-поле случайным образом идентифицируется некоторая клетка i = 1 с координатой x1. Все ячейки имеют одинаковую вероятность идентификации.
- 2. Соседняя клетка i = 2 с координатой x2 выбирается случайным образом по схеме соседства из окрестности Неймана (у клетки есть только два соседа, рис. 2).
- 3. Реализуется КА-взаимодействие между выбранными клетками. Смысл взаимодействий заключается в пересчете значений температуры теплоизоляционного материала резервуара в клетках поля моделирования по уравнениям (2)—(3), которые представляют собой клеточно-автоматный аналог процесса теплопроводности [9].

В простейшем случае стационарной теплопроводности одношаговая функция переходов і-й клетки рассчитывается по формуле:

$$T_{i}^{j+1} = \lambda_{i} T_{i}^{j} + \lambda_{i+1} T_{i+1}^{j} / \lambda_{i} + \lambda_{i+1},$$

где j+1 — номер итерации;

 $T_{\rm i}^{\rm j+1}$ — новая установившаяся температура в случайной клетке;

 $T_{\rm i}^{\rm j}$ — первоначальное значение температуры в этой же клетке;

 $\lambda_{_{\rm I}}$ — коэффициент теплопроводности материала в данной клетке;

 T^{j}_{i+1} — температура одной из случайно выбранных соседних ячеек;

 $\lambda_{_{i+1}}$ — коэффициент теплопроводности материала выбранной соседней ячейки.

В применении к частному случаю моделирования температурного графика в стенке резервуара задача формулируется так. Нефтяной резервуар покрыт тепловой изоляцией из минеральной ваты базальтового волокна — каменной ваты. С внутренней стороны на стенках резервуара образован слой парафинистых отложений. Основные характеристики ограждений резервуара приведены в табл. 1.

Результаты моделирования одномерного поля, содержащего 850 ячеек, в пределах погрешности клеточно-автоматного «шума» приведены на рис. 3.

Оптимизация клеточно-автоматного моделирования

Очевидно, что для обеспечения адекватности результатов моделирования реальному процессу размерность модельного поля следует принимать, возможно, большей. Однако это неизбежно увеличит продолжительность моделирования даже при использовании современного быстродействующего вычислительного оборудования [9, 11].

Для оценки степени влияния количества клеток автомата на результат моделирования температуры были выполнены построения модели для трех случаев размерности поля. На основе предварительно проведенных вычислительных экспериментов было отобрано 17, 85 и 850 клеточных автоматов по толщине слоя. В качестве слоя был взят слой именно тепловой изоляции, т.к. в металлической стенке резервуара температура изменяется незначительно и ее динамика не представляет практического интереса. Результаты моделирования показаны на рис. 4.

Абсолютные отклонения модельной температуры от вычисленной аналитически приведены на рис. 5.

Оценка качества построенной модели была проведена по величине среднеквадратического отклонения модельной температуры от аналитически рассчитанной (рис. 6).

Таблица 1 Технические характеристики наружных ограждений резервуара

| № | Наименование слоя | Толщина | Коэффициент
теплопроводности | Количество ячеек |
|---|----------------------|---------|---------------------------------|------------------|
| | | ММ | BT/(m ² K) | ШТ |
| 1 | Отложения | 1 | 0,4 | 10 |
| 2 | Стальной лист | 24 | 52,0 | 240 |
| 3 | Тепловая КВ-изоляция | 60 | 0,032 | 600 |
| | ВСЕГО | 85 | | 850 |



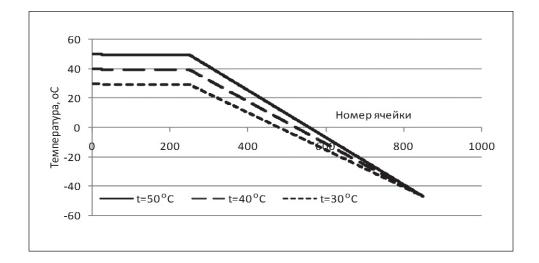
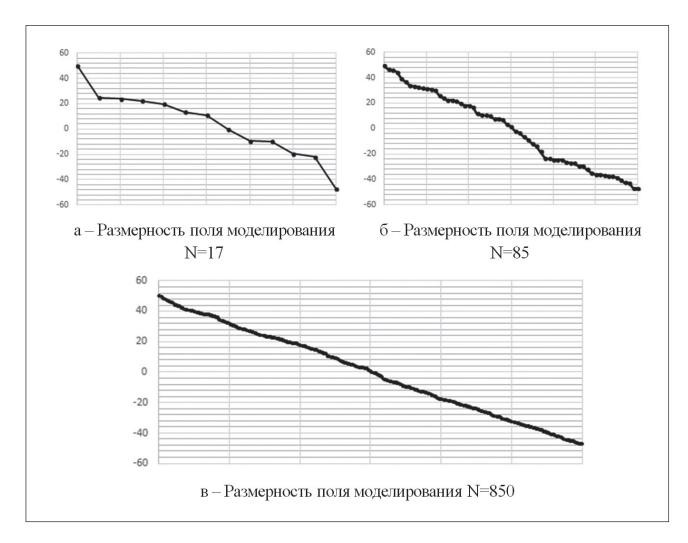


Рис. 3. Модельные температурные линии для трех тепловых режимов резервуара: $t_{_{\rm BH}}=30^{\circ}{\rm C},\,t_{_{\rm BH}}=40^{\circ}{\rm C},\,t_{_{\rm BH}}=50^{\circ}{\rm C}$



 ${
m Puc.}\ 4.\ {
m Pe}$ зультаты моделирования распределения температур по толщине тепловой изоляции резервуара в зависимости от количества KA, ${
m ^oC}$



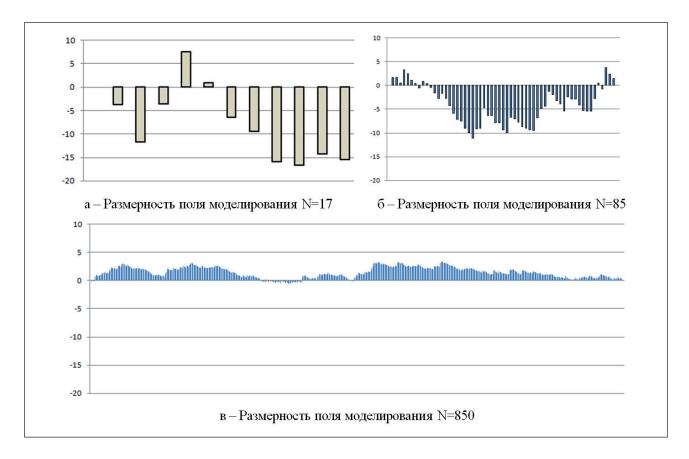


Рис. 5. Разница модельной и аналитически определенной температуры по толщине тепловой изоляции резервуара в зависимости от количества KA, °C

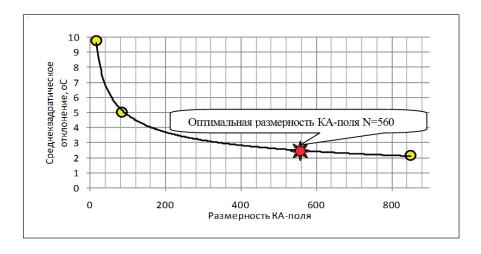


Рис. 6. Зависимость точности моделирования от размерности КА-поля

Результаты моделирования показали, что в рассматриваемой задаче среднеквадратическое отклонение σ связано с размерностью клеточно-автоматного поля N степенной зависимости вида

$$\sigma = 28,75 \times N^{-0,386}.$$
 (4)

Выбор необходимой и достаточной размерности поля клеточных автоматов является основным этапом при моделировании. Назначение размерности поля на оптимальном уровне позволяет минимизировать временные затраты с одновременным достижением требуемой точности результатов.



Из рис. 6 видно, что при увеличении размерности КА-поля среднеквадратическая ошибка моделирования температур монотонно снижается. Однако сопутствующее наращивание количества пар сравнения в структуре КА приводит к значительному увеличению времени моделирования и, как следствие, снижению оперативности получения результатов. Это является существенным недостатком в условиях производственного мониторинга режима эксплуатации промыслового оборудования.

Оптимальное решение следует принимать с учетом точности используемых приборов для контроля температур среды в резервуаре и на поверхности изоляционного слоя. Как правило, для измерения температур в диапазоне $(-100; +100)^{\circ}$ С используются хромель-копелевые (ХК) термопары. В этом интервале температур допустимая абсолютная погрешность инструментального контроля составляет $\pm 2,5^{\circ}$ С.

С помощью уравнения (4) было установлено, что для обеспечения такой точности достаточной является размерность KA-поля с количеством ячеек моделирования N=560 (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Рассмотрен альтернативный численный метод решения задач теплопроводности. Получено распределение температур в наружном изоляционном слое резервуара в условиях Крайнего севера России методом КА-моделирования. Показано, что среднеквадратическое отклонение модели 1,7°С обеспечивается размерностью КА-поля на уровне N = 850 ячеек.
- Проведение виртуального эксперимента по моделированию теплопроводности в изоляционном слое позволило идентифицировать степенную зависимость точности моделирования от размерности КА-поля для нефтяных резервуаров парков центральных пунктов сбора северных месторождений. Установлено, что полученная зависимость характеризуется дисперсией адекватности на уровне 0,99.
- 3. Показано, что для КА-моделирования при производственном мониторинге режимов эксплуатации резервуарных парков нефти оптимальным с точки зрения точности и оперативности получения результатов является размерность КА-поля N = 560 ячеек.

REFERENCES

- 1. Karpov A.I. Theses in the area of nanotechnologies and nanomaterials: novelties and practical application. Part 2. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 2, pp. 82–103. DOI: dx.doi.org/10.15828/20758545-2016-8-2-82-103. (In Russian).
- 2. Kitayev S.V., Smorodova O.V. Matematicheskoye modelirovaniye ispareniya szhizhennykh uglevodorodov pri narushenii teplovoy izolyatsii rezervuara [Mathematical modeling of evaporation of liquefied hydrocarbons in violation of the thermal insulation of the reservoir]. Neftegazovoye delo: elektron. nauch. jurn. [Oil and gas business: electron. scient. jour]. 2017. no 1. Pp. 108–120. (In Russian). Available at: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1_2017/ogbus_1_2017_p108-120_KitaevSV_ru.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 3. Sultanov M.KH., Gimaletdinov G.M., Yumagulov E.O. Rezervuary bol'shikh ob"yemov dlya khraneniya nefti i nefteproduktov [Tanks of large volumes for the storage of oil and oil prod-ucts]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov [Problems of collection, prep-aration and transport of oil and oil products]. 2008. no1(71). Pp. 46–48. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_11639733_60479104.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 4. Sultanov M.KH., Gimaletdinov G.M., Sattarova D.M. Sovershenstvovaniye konstruktsiy oborudovaniya rezervuarov [Improving the design of equipment tanks]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov [Problems of collection, preparation and transport of oil and oil products]. 2004. no. 63. Pp. 149–152. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_11528514_83829171.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 5. Bronshteyn A.I., Zhuravlev G.V. Otsenka zavisimosti fraktsionnogo sostava nefti ot kolichestva isparivshikhsya uglevodorodov [Evaluation of the dependence of the fractional compo-sition of oil on the amount of evaporated hydrocarbons]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov [Problems of collection, preparation and transport of oil and oil products]. 2007. №2(68). C. 95–97. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_11639686_65918710.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 6. Luk'yanova I.E. Issledovaniye rabotosposobnosti rezervuara RVS dlya khraneniya nefti i nefteproduktov s ispol'zovaniyem programmnogo paketa FLOWVISION [Investigation of the RVS reservoir working capacity for the storage of oil and petroleum products using the FLOWVISION software package]// Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov [Problems of collection, preparation and transport of oil and oil products]. 2009. № 3(77). C. 63–66. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_13004713_56933267.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 7. Baykov I.R., Smorodova O.V., Kitayev S.V. Issledovaniye svoystv zhidkikh keramicheskikh teploizolyatsionnykh materialov [Research of the properties of liquid ceramic heat-insulating materials]. Nanotekhnologii v stroitel'stve [Nanotechnologies in con-



struction: a scientific online journal]. 2018. Vol. 10. no. 5. Pp. 106—121. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_36402454_18899972.pdf (accessed: 24.04.2019).

- 8. Konygin S.B. Razrabotka metoda veroyatnostnogo kletochnogo avtomata dlya modelirovaniya protsessov i oborudovaniya v neftegazovoy otrasli [Development of a probabilistic cellular automaton method for modeling processes and equipment in the oil and gas industry]. Neft'. Gaz. Novatsii [Oil. Gas. Innovations]. 2011. no. 1 (144). Pp. 66–68. (In Russian).
- 9. Zhikharevich V.V., Shumilyak L.M. Approksimatsiya resheniya nestatsionarnogo uravneniya teploprovodnosti metodom veroyatnostnykh nepreryvnykh asinkhronnykh kletochnykh avtomatov dlya odnomernogo sluchaya [Approximation of the solution of the nonstationary heat conduction equation by the method of probabilistic continuous asynchronous cellular automata for a one-dimensional case]. Komp'yuternyye issledovaniya i modelirovaniye [Computer Research and Modeling]. 2012. Vol. 4. no. 2. Pp. 293–301. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_17863045_63493478.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 10. Gubarev S.V., Berg D.B., Dobryak P.V. Matematicheskaya model' i chislennyy metod dlya resheniya zadach diffuzii i teploprovodnosti [Mathematical model and numerical method for solving problems of diffusion and heat conduction]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2013. no. 6. Pp. 176. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_21162608_63207833.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 11. Zhikharevich V.V., Shumilyak L.M., Strutinskaya L.T., Ostapov S.E Postroyeniye i issledovaniye nepreryvnoy kletochno-avtomatnoy modeli protsessov teploprovodnosti s fazovymi perekhodami pervogo roda [Building and researching a continuous cellular-automaton model of heat conduction processes with first-order phase transitions]. Komp'yuternyye issledovaniya i modelirovaniye [Computer Research and Modeling]. 2013. Vol. 5. no. 2. Pp. 141–152. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_20143227_78114907.pdf (accessed: 24.04.2019).
 - 12. Droz M., Chopard B. Cellular Automata approach to physical problems. Helvetica Physica Acta, 1988, V. 61, pp. 801–816.
- 13. Bandman O. L. Kletochno-avtomatnyye modeli prostranstvennoy dinamiki [Cellular au-tomata models of spatial dynamics]. Sistemnaya informatika [System Informatics]. 2005. Vol. 10. Pp. 57–113. (In Russian).
- 14. Parodi O., Ottavi H. Simulating the Ising model on a cellular automata. Cellular Au-tomata and Modeling of Complex Physical Systems, ed. by P.Manneville, Springer, Berlin, 1990. Pp. 82–97.
 - 15. Wolfram S. A New Kind of Science. Wolfram Media, Inc., 2002.
 - 16. Neary T., Woods D. Four Small Universal Turing Machines. Fundamenta Informaticae. 2009. Vol. 91. Pp. 105-126.
- 17. Sokolov I.A., Milovidova A.A. Obzor svoystv kletochnykh avtomatov, ikh primeneniya [Review of the properties of cellular automata, their applications]. Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii [System analysis in science and education]. 2017. no 1 (35). Pp. 21–31. (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_30599821_75631997.pdf (accessed: 24.04.2019).
- 18. Wuensche A. Classifying Cellular Automata Automatically; Finding gliders, filtering, and relating space-time patterns, attractor basins, and Z parameter. COMPLEXITY. 1999. Vol.4. no. 3. Pp. 47–66.
 - 19. Packard N. H., Wolfram S. Two-dimensional cellular automata. Journal of Statistical Physics, 1985. Vol. 38. Pp. 901–946.
- 20. Hopcroft J. E., Motwani R., Ullman J. D. Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation (2nd ed.) Addison-Wesley, 2000.
- 21. Sutner K. Linear cellular automata and De Bruijn automata. In: Cellular Automata: a parallel model (Delorme M., Mazoyer J., Eds.). Kluwer, 1998.
- 22. Hanson J.E., Crutchfield J.P. Computational mechanics of cellular automata: an exam-ple. Physica D. 1997. Vol. 103, pp. 169–189.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Карпов А.И. Диссертационные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов: научная новизна и практическая значимость. Часть 2 // Нанотехнологии в строительстве. 2016. Т.8, № 2. С. 82—108. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25810861_43156411.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 2. Китаев С.В., Смородова О.В. Математическое моделирование испарения сжиженных углеводородов при нарушении тепловой изоляции резервуара // Нефтегазовое дело. -2017. № 1. С. 108-120. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1_2017/ogbus_1_2017_p108-120_KitaevSV_ru.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 3. Султанов М.Х., Гималетдинов Г.М., Юмагулов Э.О. Резервуары больших объемов для хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. -2008. -№ 1(71). -C. 46-48. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_11639733_29497659.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 4. Султанов М.Х., Гималетдинов Г.М., Саттарова Д.М. Совершенствование конструкций оборудования резервуаров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. -2004. -№ 63. C. 149-152. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary 11528514 81961495.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 5. Бронштейн А.И., Журавлев Г.В. Оценка зависимости фракционного состава нефти от количества испарившихся углеводородов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2007. № 2 (68). С. 95—97. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary 11639686 44995248.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 6. Лукьянова И.Э. Исследование работоспособности резервуара РВС для хранения нефти и нефтепродуктов с использованием программного пакета FLOWVISION // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. -2009. -№ 3 (77). -C. 63-66. -URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_13004713_99189431.pdf (дата обращения: 24.04.2019).



- 7. Байков И.Р., Смородова О.В., Китаев С.В.Исследование свойств жидких керамических теплоизоляционных материалов // Нанотехнологии в строительстве. -2018. Т. 10, № 5. С. 106-121. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary 36402454 13331277.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 8. Коныгин С.Б. Разработка метода вероятностного клеточного автомата для моделирования процессов и оборудования в нефтегазовой отрасли // Нефть. Газ. Новации. -2011. № 1 (144). C. 66-68.
- 9. Жихаревич В.В., Шумиляк Л.М. Аппроксимация решения нестационарного уравнения теплопроводности методом вероятностных непрерывных асинхронных клеточных автоматов для одномерного случая // Компьютерные исследования и моделирование. -2012. -T. 4, № 2. -C. 293-301. -URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_17863045_64452035.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 10. Губарев С.В., Берг Д.Б., Добряк П.В. Математическая модель и численный метод для решения задач диффузии и теплопроводности // Современные проблемы науки и образования. -2013. № 6. C. 176. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary 21162608 41582620.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 11. Жихаревич В.В., Шумиляк Л.М., Струтинская Л.Т., Остапов С.Э Построение и исследование непрерывной клеточно-автоматной модели процессов теплопроводности с фазовыми переходами первого рода // Компьютерные исследования и моделирование. -2013. -T. 5, № 2. -C. 141-152. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20143227_99365212. pdf (дата обращения: 24.04.2019).
 - 12. Droz M., Chopard B. Cellular Automata approach to physical problems // Helvetica Physica Acta, 1988, V. 61, pp. 801–816.
- 13. Бандман О. Л. Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // Системная информатика. 2005. Вып. 10. C. 57-113.
- 14. Parodi O., Ottavi H. Simulating the Ising model on a cellular automata.// Cellular Automata and Modeling of Complex Physical Systems, ed. by P.Manneville, Springer, Berlin, 1990, pp. 82–97.
 - 15. Wolfram S. A New Kind of Science. Wolfram Media, Inc., 2002.
 - 16. Neary T., Woods D. Four Small Universal Turing Machines, Fundamenta Informaticae (2009) 91. Pp. 105–126.
- 17. Соколов И.А., Миловидова А.А. Обзор свойств клеточных автоматов, их применения // Системный анализ в науке и образовании. -2017. -№ 1 (35). C. 21-31. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_30599821_68409860.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- 18. Wuensche A. Classifying Cellular Automata Automatically; Finding gliders, filtering, and re-lating space-time patterns, attractor basins, and Z parameter // COMPLEXITY. 1999. Vol. 4. no. 3. Pp. 47–66.
 - 19. Packard N. H., Wolfram S. Two-dimensional cellular automata // Journal of Statistical Physics, 1985. Vol. 38. Pp. 901-946.
- 20. Hopcroft J. E., Motwani R., Ullman J. D. Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation (2nd ed.) Addison-Wesley, 2000.
- 21. Sutner K. Linear cellular automata and De Bruijn automata. In: Cellular Automata: a parallel model (Delorme M., Mazoyer J., Eds.). Kluwer, 1998.
- 22. Hanson J.E., Crutchfield J.P. Computational mechanics of cellular automata: an example // Physica D. 1997. Vol. 103. Pp. 169–189.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor R. Baikov, Ufa State Petroleum Technological University; 450064, Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Kosmonavtov St., 1, Doctor of Technical Sciences, Professor, Full member of Academy of Mining Engineering, Head of Department «Industrial Heat Powering», pte.ugntu@rusoil.net

Olga V. Smorodova, Ufa State Petroleum Technological University; 450064, Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Kosmonavtov St., 1, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department «Industrial Heat Powering», olga_smorodova@mail.ru

Sergey V. Kitaev, Ufa State Petroleum Technological University; 450064, Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Kosmonavtov St., 1, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Full member of International Academy of Engineering, Professor of Department «Transport and Storage of Oil and Gas», svkitaev@mail.ru

Elena V. Kuznetsova, Ufa State Petroleum Technological University; 450064, Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Kosmonavtov St., 1, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department « Economics and management at the enterprise of the oil and gas industry», nsp-rb@mail.ru

Dinara T. Gizatullina, Ufa State Petroleum Technological University; 450064, Russia, Bashkortostan Republic, Ufa, Kosmonavtov St., 1, undergraduate student of Department «Industrial Heat Powering», dinara.giz@inbox.ru

2019; 11 (3): 335-350



NANOTECHNOLOGIES IN POWER ENGINEERING • НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Байков Игорь Равильевич, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; 450064, г. Уфа, Республика Башкортостан, ул. Космонавтов, д. 1, д-р техн. наук, проф., действительный член Академии горных наук, зав. каф. «Промышленная теплоэнергетика», pte.uqntu@rusoil.net;

Смородова Ольга Викторовна, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; 450064, г. Уфа, Республика Башкортостан, ул. Космонавтов, д. 1, канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика», olga_smorodova@mail.ru;

Китаев Сергей Владимирович, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; 450064, г. Уфа, Республика Башкортостан, ул.Космонавтов, д. 1, д-р техн. наук, доцент, действительный член Международной инженерной академии, профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», svkitaev@mail.ru;

Кузнецова Елена Викторовна, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; 450064, г. Уфа, Республика Башкортостан, ул. Космонавтов, д. 1, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономики и управления на предприятии нефтяной и газовой промышленности», nsp-rb@mail.ru;

Гизатуллина Динара Тагировна, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; 450064, г. Уфа, Республика Башкортостан, ул. Космонавтов, д. 1, студент бакалавриата кафедры «Промышленная теплоэнергетика», dinara.qiz@inbox.ru

CONTACTS / KOHTAKTЫ

e-mail: olga_smorodova@mail.ru



ON THE OBSERVANCE OF PUBLISHING ETHICS BY THE EDITORS OF ELECTRONIC EDITION «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» AND THE STATEMENT OF PREVARICATION ABSENCE.

ON THE USE OF THE CONTENT IN ACCORDANCE WITH CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION».

DECLARATION OF THE OPEN ACCESS JOURNAL.

General statements

These are the principle ethical regulations which are observed by the editors of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»:

- 1. The paper publication in the journal is free of charge.
- **2.** No plagiarism is allowed. That concerns the case when the author submits published or unpublished paper by other authors under his name as well as the case when the author misappropriates one's ideas. If the author uses the fragments borrowed from other sources in his paper, he should make a reference to these sources. The examples of the references are given in the section «For the authors».
- **3.** The editors publish the papers of the authors from all countries and of all nationalities who deal with the problem determined by the editorial policy.
- **4.** The editors don't cooperate with the authors who have ever been caught in plagiarism in his papers submitted to the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» or other editions if this fact will be revealed.
 - 5. The editors use software to reveal plagiarism related to the papers available in Internet.
- **6.** The editors will be grateful to the readers for any information concerning revealed elements of plagiarism and breaking of ethical rules by the authors. This information will be published in the edition.
- **7.** The editors undertake obligations not to publish papers appealing for terrorism and containing xenophobia and offences of other authors or citizenry.
 - 8. Blind peer review procedure is applied to all manuscripts. At least three outer experts review each paper.
- **9.** Among the requirements to be met by the reviewers there is plagiarism elements disclosure. The reviewers' duties are given in the section «For the reviewers».
 - **10.** Unreviewed papers or editorial materials are marked by proper references.
 - 11. The journal allows authors to keep author's rights and their rights on publication without restrictions.
- 12. 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. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here http://creativecommons.ru/.
- **13.** Declaration of the Open Access journal. The editors follow the politics of «open access» for the published materials. According to the Budapest Open Access Initiative (BOAI) the editors consider free access to the published materials in Internet and the right of each user to read, download, copy, distribute, print, search or link to the full text papers, search with indexer robot, enter them as data in software or use them for other legal purpose without financial, law or technical obstacles excluding those that regulate access to the Internet itself. The only restriction for reproduction and distribution and the only condition of copyright in this area must be the author's right to control the entity of his work and obligatory links to his name when his work is used and cited. More information about the Budapest Open Access Initiative is available here http://www.budapestopenaccessinitiative.org/boai-10-translations/russian.

http://nanobuild.ru 351 info@nanobuild.ru



The full texts (parts or metadata) of the papers published in the journal «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» are free accessed in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), Scientific electronic library eLIBRARY.RU, citation systems (data bases): ISSN, Russian Index of Scientific Citation, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, CA(pt), Compendex, Scopus, Web of Science, EBSCO Publishing, ResearchBib, CrossRef et al.

Every paper must contain the following information: place of work (university (institute), enterprise and other types of organizations, city, and country), position, academic degree, academic title, full postal address and email that allows scientists and specialists from different countries to contact authors.

Each paper is assigned UDC, DOI and metadata of the paper contains machine-readable information on CC-licenses (HTML-code), other identifiers of the materials.

14. The detailed information about publication ethics, the material reviewing procedure, license principles, declaration of Open Access journal, observance of author and joint rights to follow is presented in international standards, laws of the Russian Federation, professional codes, and guidelines. One of them is International standards of the Committe on Publication Ethics (COPE), licenses Creative Commons, Budapest Open Access Initiative, the guidelines for Elsevier's reviewers, Civil Code of Russian Federation (item IV), the law of RF «On mass media», the law of RF «On the advertisement», Code of the journalist professional ethics, Code of scientific publication ethics etc.

For the editor-in-chief

Decision on Paper Publication. The editor-in-chief of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» 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 council and 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 council, editorial board or reviewers.

Justice. 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.

Confidentiality. The editor-in-chief, editorial staff, members of the editorial council must not disclose information on the submitted manuscript to the third person except for the author, reviewers, potential reviewers, the editorial council's consultants, and the publisher.

Disclosure and Conflict of Interests. The information contained in the submitted paper cannot be used in the paper of the editor-in-chief, members of the editorial council or 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.

The editor-in-chief should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, cooperation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.

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.

Examination of complaints of ethnic character. 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.

For the reviewers

Review of the paper assists the editor-in-chief to take decisions on the publication of it, and the reviewers' criticism can help the author to improve his paper. The editors of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» appoint reviewers from the members of the editorial council, editorial board or engage outside experts. Review is aimed at evaluation of scientific importance and novelty of the submitted manuscript. The authors of the submitted manuscripts recognize expediency and necessity of the review. Having agreed to do review, the future reviewer undertakes the following obligations.

Promptness. The persons addressed by the members of the editorial staff through the editor-in-chief in respect to the review of scientific papers, have ethical obligations concerning the efficiency of review. If it is not possible to present the review within the given period, one must inform the editor-in-chief about that and new reviewer is appointed.



Confidentiality. Each manuscript submitted to the review is to be reviewed as a confidential document. It is not to be examined and discussed with the third persons, except for those appointed by the editor-in-chief.

Neutrality. The reviews must be done impartially. No personal accusations for the author are allowed. The reviewer should express his point of view in a clear and reasoned way.

The reference evaluation. The fact that there are no references in the manuscript should be marked and considered by the reviewer. If the manuscript partially of completely coincides with the publications known by the reviewer and the references to these publications are absent, that must be pointed out by the reviewer. The examples of the bibliographic references are given in the section «For the authors».

Plagiarism disclosure. In the case of suspicion of paper duplication or plagiarism the reviewer should point out this fact in his review.

Ethical rules. Confidential information and ideas of reviewed paper must not be disclosed. Materials of the reviewed paper must not be used for reviewer's self-profit. The reviewer follows the rule according to which he doesn't use ideas and statements obtained from the reviewed paper in his own work and publications without written permission of the author.

The reviewer should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, cooperation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.

For the authors

1. The authors submit to the editors:

- electronic manuscript (by email info@nanobuild.ru) performed according to the paper format guidelines for text and graphical materials given in **Appendix 1**. The topics of published materials must correspond to the topics stated by the editors of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» in **Appendix 2**. The format of submitted papers must be done according to the structure given in **Appendix 3**.
- 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 that each paper is assigned UDC, DOI and that metadata of the paper contains machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) and another identifiers of the materials; 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), Scientific electronic library eLIBRARY.RU, citation systems (data bases): ISSN, Russian Index of Scientific Citation, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, CA(pt), Compendex, Scopus, Web of Science, EBSCO Publishing, ResearchBib, CrossRef, ProQuest et al.

All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here http://creativecommons.ru/.

2. The paper should reflect the results of original research and its relation to the previous research performed by the author himself or other scientists. The relation to other research can be presented directly in the body of the paper as well as in the form of the references to the previous sources. If the author uses the material from other publications, the paper must contain the references to these materials. The references follow the body of the paper. The examples of the references are given in **Appendix 4**.

When writing a paper, one should follow the principles of professional ethics, be competent, objective and answerable.

- **3.** The editors, the editorial council or the editorial board may ask the authors to present all firstprimary sources and materials relating to the submitted paper. Materials must be kept for 1 year after the paper has been published.
- **4.** Every paper published in the journal is peer-reviewed to confirm its originality and correspondence to paper format guidelines. The use of other scientists' results and thoughts must be done in a proper form. No plagiarism is allowed. The authors must confirm the fact that the paper is published for the first time or they ask to publish it for the second time.
- **5.** The information obtained in informal way, for example, in private discussion or correspondence, cannot be presented in the paper without written permission of the source of information. The information which source is a private activity, in particularly, reviewing of manuscripts or grant applications, cannot be used in the paper without written permission of the authors.
- **6.** Republication of the paper on the editorial council's (or editorial council's) own initiative is made in agreement with the authors, editors and holder of the intellectual property right on the paper. In the case of the paper republication the publisher is to make a statement on that.

http://nanobuild.ru 353 info@nanobuild.ru



To submit a paper with co-authors is possible if all persons indicated as co-authors made their contribution to development of the concept, design, performance or interpretation of the described research.

If the contribution of a person who cooperated on the research described in the paper is not enough significant to regard him as a co-author, he should be acknowledged in the paper.

The paper publication for post-graduates is free of charge.

- **7.** The contact author must provide reading and approval of the final version of the paper by all co-authors, as well as their approval to the publication.
- **8.** In the case of conflict of interests including potential one the author or co-authors must inform the editors as soon as possible. When a principle mistake or inaccuracies have been revealed in the issued paper by the author himself, he must urgently inform the executive editor and render editor-in-chief efficient assistance to publish disproof or correction. If the editor-in-chief gets the information on the serious mistake contained in the paper from the third person, the author must present urgent disproof of that at the same time producing proofs of his rightfulness to the executive editor (or to the editor-in-chief) and provide necessary changes.
- **9.** The authors should be aware of the fact that the editors, the editorial council and the editorial board of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» take the responsibility for the assistance to scientific community to observe all aspects of publishing ethics, particularly in the cases of paper duplication or plagiarism.
- **10.** The authors of the published materials are responsible for the reliability of the given information and the use of the data which are not to be issued in public. The editors have the right to make corrections. The editors' opinion can be different from the authors' opinion; the materials are published to discuss the problems of current importance. The editors are not responsible for any information contained in advertisement.
- **11.** Having reviewed the submitted materials, the editors notify the authors of their decision by email. If the paper has been rejected, the editors send reasoned refusal to the author.
 - 12. Any full of partial reprinting of the materials is allowed only by the written permission of the editors.

Dear authors,
we kindly ask you to adhere strictly
to format guidelines when formatting your paper.



Appendix 1

The paper format guidelines

The papers are submitted by email (info@nanobuild.ru) and formatted in the following way.

1. The body of the paper

- The number of pages in the paper more than 3 but less than 10 pages in A4 format.
- Margins: left and right 2 cm, bottom and upper 2,5 cm.
- The body of the paper is performed in Word.
- The font of the body Times New Roman.
- The font size of the text is 14 pt, the factor of line-to-line spacing 1,15.
- To keep the style uniform, don't use font effects (italics, underlined etc).
- Indention 1 cm.
- · Complex formulas are performed by the means of MS Equation 3.0. contained in WinWord.
- Formulas are placed in the center of the column (page) without indention, their numbers are given in round brackets and are placed in the column (page) with right justification. If there is only one formula in the paper, it is not numbered. Above and at the bottom of the text formulas are not separated by additional space.
- To make the reference to the formula in the text use round brackets (1), to make reference to the bibliographical source use square brackets [1].
- The size of the references is 12 pt.

2. Graphical design of the paper

- Illustrations are stored in vector format eps or in any other design applications of MS Office 97, 98 or 2000.
- After the first mentioning of the diagrams, pictures and photos in the text, they are inserted in the form which is suitable for the authors.
- The legends (12 pt, normal) are placed under the figures in the center after reduced word Fig. and number (12 pt, bold) of the figure. If there is only one figure, it is not numbered.
- Between the legend and the following text one line-to-line spacing.
- All pictures and photos must be contrast and the resolution of the pictures and photos must be no less than 300 dpi. Illustartions are desirable to be coloured.
- The lines of the diagrams must not be thin (the line width no less than 0,2 mm).
- Copies and figures scanned from the books and journals of a low quality and resolution are not accepted.
- The word Table and the number of the table are placed with right justification. The heading of table is on the next line (center adjustment without indention). Between table and the text one line-to-line spacing. If there is only one table, it is not numbered.

3. The format of the modules

- Modules must be contrast and the resolution of the modules must be no less than 300 dpi (format .jpg).
- The size of the modules, mm:

1/1 – 210 (width) x 297 (height);

1/2 – 170 (width) x 115 (height).



Appendix 2

The Topics of Published Materials

- Nanostructured systems strength and penetrability formation theory development.
- Mathematical quantum and other types of models for nanomaterials characteristic research.
- The problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials.
- Technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis).
- Creation of new functional materials in construction.
- Development of transition principles «disorder-order» when creating composites with the use of synergetic and other approaches.
- Study of different technological principles when creating nanosystems in industrial production.
- Diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials.
- The problems of obtaining of high-density and high-durability building materials (concretes, ceramics etc.).
- Technologies of mineral particles grinding to nanodimensional levels.
- · Technology of blending mixtures with nanodispersed particles and methods to activate them.
- Hydrodynamic methods and other methods of aqueous suspensions and solutions activation.
- · Modification of aqueous solution of different nanodimensional additives used in construction.
- Research in the area of powder nanomaterials toxicity.
- Metal reinforcement modified by nanodimensional materials in production process.
- Carbonic, basalt and aramid fibers and other types of fibers of small diameters with nanodimensional structural characteristics.
- · Cement and other binders with mineral and organic additives.
- Concretes and solutions modified by nanodimensional additives.
- Mineral particles suspensions used for laques, paints as well as for modifiers for concretes and solutions; properties, fabrication method and durability.
- Organic materials dispersions used in laques and paints production as well as to manufacture additives for concretes and solutions; activation methods and durability of these dispersions.
- Use of nanopowder of different nature to modify building materials properties.
- New characteristics of building materials based on nanosystems.
- Modification of building materials with nanofibers.
- Disperse composite materials with nanocoating.
- Formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering.
- Development of the methods aimed at studying materials nanostructure on the basis of disperse systems, including studying of vacuum nanoobjects in porous systems.
- Technologies aimed at studying nanomaterial properties.
- The systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies.

The topics can be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.



Appendix 3

The structure of the paper

SECTION (In English) / **SECTION** (In Russian)

DOI UDC

Title (In English)

Author(s):

Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country), position (In English), email of each author

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, contain main results of research, structured, compact – 200–250 words) (In English)

Keywords: (In English)

Acknowledgements: (if available) (In English)

For citation: (In English)

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

The paper has been received by editors: The paper has been received by editors after peer-review:

The paper has been accepted for publication:

Title (In Russian)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country), position, (In Russian), email of each author

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, contain main results of research, structured, compact – 200–250 words) (In Russian)

Keywords: (In Russian)

Acknowledgements: (if available) (In Russian)

For citation: (In Russian)

Text of the paper: (In English)

INTRODUCTION

MAIN PART

CONCLUSION

Text of the paper: (In Russian)

INTRODUCTION

MAIN PART

CONCLUSION

References: (In English)

References: (In Russian)

Information about the author(s): (In English)

Information about the author(s): (In Russian)

Contacts:

2019; 11 (3): 351-368



Appendix 4

Reference Formats (according to guidelines of VINITI RAN)

References are given after the text of the paper. The references in the list must be numbered.

Description of a Paper from Electronic Journal:

Falikman V.R., Vainer A.Y. Photocatalytic Cementitious Composites Containing Mesoporous Titanium Dioxide Nanoparticles. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 1, pp. 14–26. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN/ (Accessed __________). (In Russian).

Note: Volume 1 – 2009; Volume 2 – 2010; Volume 3 – 2011; Volume 4 – 2012; Volume 5 – 2013; Volume 6 – 2014; Volume 7 – 2015; Volume 8 – 2016 etc.

Description of a Paper from Journal:

Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. Technical and economic optimization of hydrofracturing design. Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry, 2008, no. 11, pp. 54–57. (In Russian).

Description of a Paper from Ongoing Edition (Proceedings):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii «stal'-kompozit» [Experimental study of the strength of joints «steel-composite»]. Trudy MGTU «Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem» [Proc. of the Bauman MSTU «Mathematical Modeling of Complex Technical Systems»], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Description of a Paper with DOI:

Korolev E.V., Smirnov V.A., Evstigneev A.V. Nanostructure of matrices for sulfur constructional composites: methodolody,methods and research tools. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 6, pp. 106–148. DOI: 10.15828/2075-8545-2014-6-6-106-148.

Description of Conference Proceedings:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing. Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma «Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi» [Proc. 6th Int. Symp. «New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact»]. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russian).

Description of Book (Monograph, Collection):

Lindorf L.S., Mamikoniants L.G., eds. Ekspluatatsiia turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow, Energiia Publ., 1972, 352 p. (In Russian).

Kanevskaya R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development]. Izhevsk, 2002. 140 p.

Description of Translated Book:

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., lang D.Kh., Uiver U. Kolebaniia v inzhenernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

http://nanobuild.ru 358 info@nanobuild.ru



Brooking A., Jones P., Cox F. Expert systems. Principles and case studies. Chapman and Hall, 1984. 231 p. (Russ. ed.: Bruking A., Dzhons P., Koks F. Ekspertnye sistemy. Printsipyraboty i primery. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1987. 224 p.).

Description of Internet Source:

APA Style (2011). Available at: http://www.apastyle.org/apastyle-help.aspx (accessed 5 February 2013).

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov (Rules for the Citing of Sources) Available at:

http://www.scribd.com/doc/1034528/ (accessed 7 February 2013).

Description of Thesis or Abstract of Thesis:

Semenov V.I. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor. Dokt, Diss. [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Doct. Diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

Description of State Standard (GOST):

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Description of Patent:

Ponomarev A.N., Seredokho V.A., Sofronov A.Yu. Construction structural element. RF Patent 2683836 C1. 2019. Bulletin № 10.

Description of Unpublished Document:

Pressure generator GD-2M. Technical description and user manual. Zagorsk, Res. Inst. of Appl. Chem. Publ., 1975. 15 p. (In Russian, unpublished).



О СОБЛЮДЕНИИ РЕДАКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ» ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ЭТИКИ И ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОТСУТСТВИИ ЗЛОУПОТРЕБЛЕНИЯ СЛУЖЕБНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕНТА В COOTBETCTВИИ С ЛИЦЕНЗИЕЙ CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». ДЕКЛАРАЦИЯ OPEN ACCESS ЖУРНАЛА

Общие положения

Основные этические нормы, которые соблюдает редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал»:

- 1. Публикация статей в журнале бесплатна.
- **2.** Недопустимым является плагиат, в какой бы то ни было форме. Это касается как представления к публикации под своим именем прежде опубликованных или неопубликованных работ других авторов, так и присвоения чужих идей. В случае заимствования фрагментов чужих работ автор должен указать источник. Примеры библиографических ссылок приведены в разделе «Авторам».
- **3.** Редакция публикует статьи авторов всех стран и национальностей, которые исследуют проблематику, определенную редакционной политикой.
- **4.** Редакция не сотрудничает с авторами, которые когда-либо допустили случаи плагиата в статьях, представленных в электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» или других изданиях, если таковое станет известным.
- **5.** Редакция использует программные средства и обеспечение для выявления плагиата из работ, имеющихся в Интернете.
- **6.** Редакция будет с признательностью принимать информацию от читателей относительно выявленных ими элементов плагиата и нарушения авторами моральных норм и публиковать ее на страницах журнала.
- **7.** Редакция берет на себя обязательства не публиковать статьи, которые содержат призывы к терроризму, проявления ксенофобии, оскорбления других авторов или граждан.
- **8.** В редакции журнала проводится внешнее рецензирование статей, для рецензирования каждой статьи привлекается не менее 3 экспертов.
- **9.** Среди требований, предъявляемых к рецензентам, есть определение наличия элементов плагиата. Обязанности рецензентов приведены в разделе «Рецензентам».
 - 10. Структура рецензированных статей приведена в Приложении 3.
- **11.** Журнал позволяет сохранять авторам авторские права без ограничений, а также сохранять авторам права на публикации без ограничений.
- **12.** 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. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь http://creativecommons.ru/.
- **13.** Декларация Open Access журнала. Редакция издания придерживается политики «открытого доступа» к публикуемым материалам. Под «открытым доступом» в соответствии с Будапештской инициативой «Открытый доступ» (БИОД) редакция подразумевает свободный доступ к публикуемым в журнале материалам через публичный Интернет и право каждого пользователя читать, загружать, копировать, распространять, распечатывать, искать или делать ссылки на полнотекстовые статьи, проводить поиск роботами-индексаторами, вводить их как данные в программное обеспечение или использовать для других законных целей при отсутствии



финансовых, правовых и технических преград, за исключением тех, которые регулируют доступ к собственно Интернету. Единственным ограничением на воспроизводство и распространение и единственным условием копирайта в этой области должно быть право автора контролировать целостность своей работы и обязательные ссылки на его имя при использовании работы и ее цитировании. Подробно о Будапештской инициативе «Открытый доступ» смотрите здесь http://www.budapestopenaccessinitiative.org/boai-10-translations/russian.

В открытом доступе размещаются полные тексты статей из журнала «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» (их составные части или метаданные) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild. ru), Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, в системах цитирования (базах данных): ISSN, Российский индекс научного цитирования, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, CA(pt), Compendex, Scopus, Web of Science, EBSCO Publishing, ResearchBib, CrossRef, ProQuest и др.

В каждой научной статье у авторов обязательно указываются: место работы (университет (институт), предприятие и другие организации, город, страна), должность, ученая степень, ученое звание, полный почтовый адрес и электронный адрес, что обеспечивает возможность непосредственно общаться ученым и специалистам из разных стран с авторами.

Каждой статье присваивается UDC, DOI, в метаданных статьях размещается машиночитаемая информация о СС-лицензии (HTML-код), другие идентификаторы материалов.

14. Более подробная информация о соблюдении издательской этики, порядке рецензирования материалов, принципах лицензирования, декларации Open Access журнала, соблюдении авторского и смежных правах, которыми нужно руководствоваться, содержится в международных стандартах, законах Российской Федерации, профессиональных кодексах, руководствах. Среди них – Международные стандарты Комитета по этике публикаций (Committe on Publication Ethics – COPE), Лицензии Creative Commons, Будапештская инициатива «Открытый доступ», Руководство для рецензентов издательства Elsevier, Гражданский кодекс РФ ч. IV, Закон РФ «О средствах массовой информации», Закон РФ «О рекламе», Кодекс профессиональной этики журналиста, Кодекс этики научных публикаций и др.

Главному редактору

Решение по опубликованию статьи. Главный редактор электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», 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 редсоветом и 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 или рецензентами.

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

Конфиденциальность. Главный редактор, сотрудники редакции, члены редсовета и редсовета не должны раскрывать информацию о представленной рукописи кому-либо другому, за исключением автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, консультантов редакционного совета, а также издателя.

Разглашение сведений и конфликт интересов. 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.

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.

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.

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

http://nanobuild.ru 361 info@nanobuild.ru



Рецензентам

Рецензирование помогает главному редактору при принятии решения об опубликовании работы, а благодаря замечаниям и предложениям рецензентов может также помочь автору улучшить его работу. Редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» привлекает рецензентов из числа внешних экспертов. Рецензирование должно обеспечить оценку научной значимости и оригинальности представленной рукописи. Авторы рукописей, представленных к опубликованию, признают целесообразность и необходимость рецензирования. Соглашаясь на рецензирование, будущий рецензент берет на себя следующие обязательства.

Оперативность. Лица, к которым обратились члены редакции через главного редактора относительно рецензирования рукописей научных работ, имеют моральные обязательства относительно ее оперативной оценки. При невозможности представления рецензии в установленный срок, об этом информируют главного редактора и назначают нового рецензента.

Конфиденциальность. Каждая полученная для рецензирования рукопись должна рассматриваться как конфиденциальный документ. Ее не просматривают и не обсуждают с другими лицами, кроме лиц, уполномоченных главным редактором.

Объективность. Рецензии должны выполняться объективно. Недопустимы личностные нападки на автора. Рецензенту следует выражать свою точку зрения ясно и обоснованно.

Оценка ссылок. Факт отсутствия ссылок в рукописи, представленной для опубликования, должен быть отмечен и оценен рецензентом. В случае сходства или частичного совпадения рукописи с известными рецензенту публикациями, на которые отсутствуют ссылки, это должно быть также указано рецензентом. Примеры библиографических ссылок приведены в разделе «Авторам».

Выявление плагиата. Рецензент, в случаях подозрения по поводу дублирования статьи или плагиата, должен указать об этом в рецензии.

Этические нормы. Конфиденциальная информация и идеи рецензированной статьи не должны разглашаться. Материалы рецензированной статьи не должны использоваться для получения личной выгоды рецензента. Рецензент соблюдает норму, согласно которой он не использует в собственной работе и публикациях идеи и положения рецензированной им статьи без письменного согласия ее автора.

Рецензенту 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.

Авторам

1. Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде (по электронной почте info@nanobuild.ru) в соответствии с правилами оформления текстовых и графических материалов, приведенными в Приложении 1. Тематика публикуемых материалов должна соответствовать заявленной редакцией электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» в Приложении 2. Представляемые статьи должны соответствовать структуре, приведенной в Приложении 3.
- 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 присвоением каждой статье UDC, DOI, с размещением машиночитаемой информации о СС-лицензии (HTML-код) в метаданных статьях, других идентификаторов материалов; согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, в системах цитирования (базах данных): ISSN, Российский индекс научного цитирования, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, CA(pt), Compendex, Scopus, Web of Science, EBSCO Publishing, ResearchBib, CrossRef и др. Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь http://creativecommons.ru/.

2. В статье должны содержаться результаты оригинальных исследований и прослеживаться связь с предыдущими исследованиями, выполненными лично автором и другими учеными. Последнее должно быть представлено как в основном тексте, так и в форме ссылок на предыдущие источники. В случае использования материалов из работ других авторов статья должна содержать соответствующие ссылки.



Библиографический список приводится после текста статьи. Примеры оформления библиографических ссылок даны в **Приложении 4**.

При написании статьи следует соблюдать принципы профессиональной этики, проявлять компетентность, объективность и ответственность.

- **3.** Редакция, редакционный совет или редакционная коллегия могут попросить авторов предоставить все первоисточники и материалы, имеющие отношение к написанию публикуемой статьи. Материалы должны храниться в течение 1 года после публикации.
- **4.** Каждая статья, публикуемая в журнале, рецензируется экспертами на предмет оригинальности и соответствия правилам оформления. Использование трудов или мыслей других ученых должно быть оформлено надлежащим образом. Недопустим плагиат в любой форме. Авторы должны подтвердить, что публикуют свою статью впервые или просят осуществить ее повторную публикацию.
- **5.** Информация, полученная неофициально, например, в частном обсуждении или переписке, не может быть представлена в статье без письменного разрешения со стороны источника информации. Информация, источником которой является конфиденциальная деятельность, в частности рецензирование рукописей или заявок на получение грантов, не может быть использована в статье без письменного согласия авторов.
- **6.** Переиздание статьи по инициативе редакционного совета (редакционной коллегии) журнала осуществляется с согласия авторов, редакции и обладателя права интеллектуальной собственности на статью. В случае повторной публикации статьи издатель делает соответствующее сообщение об этом.

Представление статьи в соавторстве возможно, если все лица, указанные как соавторы, сделали значительный вклад в разработку концепции, планирование, выполнение или интерпретацию описываемого исследования. В случае если вклад лица, определенным образом содействовавшего освещенному в статье исследованию, не настолько существенен, чтобы включить его в соавторы, ему должна быть высказана признательность. Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается.

- **7.** Автор-корреспондент должен обеспечить прочтение и одобрение всеми соавторами окончательной версии статьи, а также их согласие на публикацию.
- **8.** При наличии конфликта интересов, в том числе и потенциального, автор или соавторы должны информировать издателя как можно раньше. При выявлении принципиальных ошибок или неточностей в своей уже опубликованной работе автор обязан срочно сообщить об этом шеф-редактору и оказать максимальное содействие главному редактору журнала для публикации опровержения либо исправлений. В случае получения главным редактором информации от третьих лиц о содержащейся в опубликованной работе существенной ошибке автор обязан представить срочное опровержение с предоставлением главному редактору (шеф-редактору) доказательств своей правоты или необходимые исправления.
- **9.** Авторы должны осознавать, что редакция, редакционный совет и редакционная коллегия электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» берут на себя обязательства помогать научному сообществу в соблюдении всех аспектов издательской этики, особенно в случаях подозрения по поводу дублирования статьи или плагиата.
- **10.** Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений и использование данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция оставляет за собой право внесения редакторской правки. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов: материалы публикуются с целью обсуждения актуальных вопросов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.
- **11.** После рассмотрения материалов редакция уведомляет авторов о своем решении электронным письмом. В случае если статья не подлежит публикации, редакция направляет автору мотивированный отказ.
- **12.** Любая перепечатка материалов полностью или частично возможна только с письменного разрешения редакции.

Уважаемые авторы! Просьба в целях экономии времени следовать правилам оформления статей в журнале.

http://nanobuild.ru 363 info@nanobuild.ru



Правила оформления материалов

Статьи представляются по электронной почте

(e-mail: info@nanobuild.ru) и оформляются следующим образом.

1. Текст статьи.

- Объем статьи не менее 3 и не более 10 страниц формата А4.
- Поля: слева и справа по 2 см, снизу и сверху по 2,5 см.
- Основной текст статьи набирается в редакторе Word.
- Шрифт основного текста Times New Roman.
- Текст набирается 14 кг, междустрочный интервал множитель 1,15.
- Для однородности стиля не используйте шрифтовые выделения (курсив, подчеркивания и др.).
- Отступ первой строки абзаца 1 см.
- Сложные формулы выполняются при помощи встроенного в WinWord редактора формул MS Equation 3.0.
- Формулы располагаются по центру колонки без отступа, их порядковый номер указывается в круглых скобках и размещается в колонке (странице) с выключкой вправо. Единственная в статье формула не нумеруется. Сверху и снизу формулы не отделяются от текста дополнительным интервалом.
- Для ссылок на формулы в тексте используются круглые скобки (1), на литературные источники квадратные скобки [1].
- Библиографический список приводится 12 кг.

2. Графическое оформление статьи.

- Иллюстрации выполняются в векторном формате eps либо в любом из графических приложений MS Office 97, 98 или 2000.
- Графики, рисунки и фотографии вставляются в текст после первого упоминания о них в удобном для автора виде.
- Подрисуночные подписи (12 кг, обычный) даются под иллюстрациями по центру после сокращенного слова Рис. с порядковым номером (12 кг, полужирный). Единственный рисунок в тексте не нумеруется.
- Между подписью к рисунку и последующим текстом один междустрочный интервал.
- Все рисунки и фотографии должны быть контрастными и иметь разрешение не менее 300 dpi. Иллюстративный материал желательно представлять в цветном изображении.
- Графики нельзя выполнять тонкими линиями (толщина линий не менее 0,2 мм).
- Ксерокопированные, а также плохо отсканированные рисунки из книг и журналов не принимаются.
- Слово Таблица с порядковым номером располагается с выключкой вправо. На следующей строке приводится заголовок к таблице (выравнивание по центру без отступа). Между таблицей и текстом один междустрочный интервал. Единственная таблица в статье не нумеруется.

3. Оформление модулей.

- Модули должны быть контрастными и иметь разрешение не менее 300 dpi (в формате .jpg).
- Размеры модулей, мм:

1/1 – 210 (ширина) х 297 (высота);

1/2 – 170 (ширина) х 115 (высота).



Тематика публикуемых материалов

- Разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем.
- Математические квантовые и другие виды моделей для исследования свойств наноматериалов.
- Проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах.
- Технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.).
- Создание новых функциональных материалов в строительстве.
- Разработка принципов перехода «беспорядок-порядок» при создании композитов с использованием синергетики.
- Изучение различных технологических принципов при создании наносистем в промышленном производстве.
- Диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем.
- Проблемы получения высокоплотных и высокопрочных строительных материалов (бетоны, керамика и др.).
- Технологии измельчения минеральных частиц до наноразмерных уровней.
- Технология перемешивания смесей с нанодисперсными частицами и методы их активации.
- Гидродинамические и другие методы активации водных суспензий и растворов.
- Модификация водных растворов различных наноразмерных добавок, используемых в строительстве.
- Исследование в области токсичности порошковых наноматериалов.
- Металлическая арматура, модифицированная в процессе изготовления наноразмерными материалами.
- Волокна углеродные, базальтовые, арамидные и другие волокна малых диаметров с наноразмерными структурными характеристиками.
- Цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками.
- Бетоны и растворы, модифицированные наноразмерными добавками.
- Суспензии минеральных и органических добавок, используемые для лаков, красок, а также модификаторов к бетонам и растворам; свойства, технология их приготовления и живучесть.
- Применение нанопорошков различной природы для модификации свойств строительных материалов.
- Новые свойства строительных материалов на основе наносистем.
- Модифицирование строительных материалов нановолокнами.
- Дисперсные композиционные материалы с нанопокрытием.
- Формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением.
- Разработка методов исследования наноструктуры материалов на основе дисперсных систем, в том числе исследования нанообъектов пустоты в пористых системах.
- Технологии исследования свойств наноматериалов.
- Системы преподавания основ нанотехнологий.

Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.



Структура статьи

РУБРИКА (на английском языке) / **РУБРИКА** (на русском языке)

DOI УДК

Заглавие (на английском языке)

Автор(ы): обязательное указание места работы каждого автора (университет (институт), предприятие и другие организации, город, страна), должности (на английском языке), электронный адрес

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 основные результаты исследований, структурированными, 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)

Машиночитаемая информация о СС-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

Статья поступила в редакцию: Статья поступила в редакцию после рецензирования: Статья принята к публикации:

Заглавие (на русском языке)

Автор(ы): обязательное указание места работы каждого автора (университет (институт), предприятие и другие организации, город, страна), должности (на русском языке), электронный адрес

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 основные результаты исследований, структурированными, 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)

Текст статьи (на английском языке)

- ВВОДНАЯ ЧАСТЬ (ВВЕДЕНИЕ)
- ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Текст статьи (на русском языке)

- ВВОДНАЯ ЧАСТЬ (ВВЕДЕНИЕ)
- ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Список литературы: (на английском языке)

Список литературы: (на русском языке)

Информация об авторе(ах): (на английском языке)

Информация об авторе(ах): (на русском языке)

Контакты:



Оформление библиографических ссылок (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и ГОСТ Р 7.0.7–2009)

Библиографический список приводится после текста статьи. Все ссылки в списке последовательно нумеруются.

Описание статьи из электронного журнала:

Фаликман В.Р., Вайнер А.Я. Фотокаталитические цементные композиты, содержащие мезопористые наночастицы диоксида титана // Нанотехнологии в строительстве. 2014. – Том 6, № 1. – С. 14–26. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: _______).

Справочно: Том 1 – 2009 год; Том 2 – 2010 год; Том 3 – 2011 год; Том 4 – 2012 год; Том 5 – 2013 год; Том 6 – 2014 год; Том 7 – 2015 год; Том 8 – 2016 год и т.д.

Описание статьи из журналов:

Загуренко А.Г., Коротовских В.А., Колесников А.А., Тимонов А.В., Кардымон Д.В. Технико-экономическая оптимизация дизайна гидроразрыва пласта // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 11. – С. 54–57.

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Астахов М.В., Таганцев Т.В. Экспериментальное исследование прочности соединения «сталь-композит» // Труды МГТУ «Математическое моделирование сложных технических систем». – 2006. – № 593. – С. 125–130.

Описание статьи с DOI:

Королев Е.В., Смирнов В.А., Евстигнеев А.В. Наноструктура матриц серных строительных композитов: методология, методы, инструментарий // Нанотехнологии в строительстве. – 2014. – Том 6, № 6. – С. 106–148. DOI: 10.15828/2075-8545-2014-6-6-106-148

Описание материалов конференций:

Усманов Т.С., Гусманов А.А., Муллагин И.З., Мухаметшина Р.Ю., Червякова А.Н., Свешников А.В. Особенности разработки месторождения с помощью гидравлического разрыва пласта // Труды 6 Международного симпозиума «Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтегазоотдачи». – Москва, 2007. – С. 267–272.

Описание книги (монографии, сборники):

Линдорф Л.С., Мамикониантс Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – Москва: Изд. Энергия, 1972. – 352 с.

Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – Ижевск, 2002.

Описание переводной книги:

Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уэвер У. Колебания в инженерном деле. – 4-е изд. – Нью-Йорк: Уайли, 1974. – 521 с. (Рус. изд.: Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уэвер У. Колебания в инженерном деле. – Москва: Изд. Машиностроение, 1985. – 472 с.).

http://nanobuild.ru 367 info@nanobuild.ru



Брукинг А., Джонс П., Кокс Ф. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – Чапман и Холл, 1984. – 231 с. (Рус. изд..: Брукинг А., Джонс П., Кокс Ф. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – Москва: Изд. Радио и связь, 1987. – 224 с.).

Описание Интернет-ресурса:

Стиль APA (2011) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx (дата обращения: 5.02.13).

Правила цитирования источников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.scribd.com/doc/1034528/ (дата обращения: 7.02.13)

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Семенов В.И. Математическое моделирование плазмы в системе «Компактный тор»: дис. ... д-ра физико-математич. наук. – Москва, 2003. – 272 с.

Описание ГОСТа:

ГОСТ 8.586.5–2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Методика выполнения измерений. – Москва: Изд. Стандартинформ, 2007. – 10 с.

Описание патента:

Пономарев А.Н., Середохо В.А., Софронов А.Ю. Строительный конструкционный элемент // Патент 2683836 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 10.

Описание неопубликованного документа:

Генератор давления GD-2M. Описание технических характеристик и руководство пользователя. – Загорск: Издательство НИИ Прикладной Химии, 1975. – 15 с. (не опубликовано).