ISSN 2075-8545 (online)
CA(pt) • CrossRef • DOAJ • EBSCO Publishing • ESCI Web of Science • EZB • eLIBRARY.RU • ICI Journals Master List
OAJI • ProQuest • Readera • ResearchBib • ResearchGate • Scopus • Ulrich's Periodicals Directory

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION A Scientific Internet-Journal 2021 • Tom 13 • No. 2
NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ научный Интернет-журнал 2021 • Том 13 • № 2

IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: a Scientific Internet-Journal» has been included in Scopus
- X-ray spectral methods for measuring the degree of ordering of carbon nanoparticles
- Surface activity of concrete waste powders
- Technological equipment management for 3D additive printing of building nanocomposites

- Журнал «Нанотехнологии в строительстве» включен в Scopus
- Рентгеноспектральные методы измерения степени упорядоченности углеродных наночастиц
- Активность поверхности порошков бетонного лома
- Технологичное управление оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов

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

ISSUED WITH SUPPORT OF
ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING
РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ

INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ

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

ISSN 2075-8545 (online)

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION
NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE
НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

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

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

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

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

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

The language of publication: English; Russian.

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

EDITORS

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

DEPUTY CHIEF EDITOR – Leonid A. IVANOV, Cand. Sci. (Eng.), Russian Academy of Engineering, International Academy of Engineering, Center for New Technologies «NanoStroitelstvo», Moscow, Russian Federation
Contacts: e-mail: info@nanobuild.ru, l.a.ivanov@mail.ru

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

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

CHIEF FOR FOREIGN RELATIONS – Svetlana R. MUMINOVA, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, Russian Federation
Contacts: e-mail: info@nanobuild.ru, muminova@list.ru

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Leonid M. LYNKOV, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Belarussian State University ofInformatics and Radioelectronics, Department «Information Security», Minsk, Belarus

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

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

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

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

Pawel SIKORA, Ph.D., Assistant Professor, West Pomeranian University of Technology, Department of Building Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Szczecin, Poland; Technical University of Berlin, Berlin, Germany

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

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

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

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

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

Founder and Publisher – Center for New Technologies «Nanostroitel'stvo», Korolev, Moscow region, Russian Federation
Contacts: e-mail: l.a.ivanov@mail.ru

Address of edition: Russian Federation, 125009, Moscow, Gazetny per., bld. 9, str. 4
Contacts: e-mail: info@nanobuild.ru

Website: http://nanobuild.ru/

Release date of № 2 (Vol. 13) is 20.04.2021

ISSUED WITH SUPPORT OF

RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING

INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING

WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (CHINA)

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A Scientific Internet-Journal 2021 • Vol. 13 • No. 2
NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

CONTENTS

PUBLISHER INFORMATION 48

TO THE AUTHORS AND READERS
Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: a Scientific Internet-Journal» has been included in Scopus 51

APPLICATION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION
Letenko D.G., Pukharenko Yu.V., Aubakirova I.U.
X-ray spectral methods for measuring the degree of ordering of carbon nanoparticles 52

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF NANOMATERIALS
Kuligin S.V., Kosyakov A.V., Belov P.V., Lapenko A.A., Ishkov A.D.
Water purification from oil and petrol products using nano-porous super-hydrophilic materials 63

DEVELOPMENT OF NEW POLYMER MATERIALS
Mazitova A.K., Aminova G.K.,Buylova E.A., Zaripov I.I., Vikhareva I.N.
Biodegradable polymer materials and modifying additives: current state. Part III 73

REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS
Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part II 79

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities 90

PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY IN CONSTRUCTION
Belozerov V.V., Belozerov V.V., Dolakov T.B., Nikulin M.A., Oleinikov S.I.
Nanotechnology of "intellectualization" of energy accounting and of suppression of fire-energy harm in engineering systems of residential buildings. Part 1 95

MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS
Ayzenshtadt A.M., Drozdyuk T.A., Danilov V.E., Frolova M.A., Garamov G.A. Surface activity of concrete waste powders .. 108

MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS
Ivanova O.V., Khalikov R.M., Salov A.S., Nizamutdinov M.Kh., Zinnatullin V.V.
Technological equipment management for 3D additive printing of building nanocomposites 117

THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES
Borisova O.N., Doronkina I.G., Feoktistova V.M. Resource-saving nanotechnologies in waste water treatment 124

PUBLISHING ETHICS 131

AUTHOR GUIDELINES 135

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ
NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION
NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

ISSN 2075-8545 (online)

«Нанотехнологии в строительстве» – рецензируемый научный журнал.
Основной целью журнала является информационное обеспечение процесса создания и внедрения в мире наукоемких технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

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

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

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

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

Язык издания: русский; английский.

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

РЕДАКЦИЯ

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Дата выхода в свет № 2, Том 13, 2021: 20.04.2021 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ

МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ

УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: научный Интернет-журнал 2021 • Том 13 • № 2

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ 48

К АВТОРАМ И ЧИТАЛЕЛЯМ

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» включено в Scopus 51

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Летенко Д.Г., Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У.
Рентгеноспектральные методы измерения степени упорядоченности углеродных наночастиц 52

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Кулигин С. В., Косяков А.В., Белов П.В., Лапенко А.А., Ишков А.Д.
Очистка воды от маслонефтепродуктов с помощью нанопористых супергидрофильных материалов 63

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мазитова А.К., Аминова Г.К., Буйлова Е.А., Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть III 73

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С.
Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть II 79

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов 90

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.И.
Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть I 95

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Айзенштадт А.М., Дроздюк Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А., Гарамов Г.А.
Активность поверхности порошков бетонного лома 108

Иванова О.В., Халиков Р.М. Салов А.С., Низамутдинов М.Х., Зиннатуллин В.В. Технологичное управление оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов 117

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Борисова О.Н., Доронкина И.Г., Феоктистова В.М.
Ресурсосберегающие нанотехнологии в водоочистке 124

ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА 131

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 135

TO THE AUTHORS AND READERS

Electronic edition "Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal" has been included in Scopus

Dear authors and readers!

We are glad to inform you that Electronic edition "Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal" (ISSN 2075-8545) has been included in Scopus.

Website of the Higher Certification Committee attached to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation contains **The reference list of the Russian editions included in international abstract databases and citation systems (as of the 31st March 2021) is available here:** https://vak.minobrnauki.gov.ru/uploader/loader?type=19&name=3408291001&f=7864

The information on the electronic edition "Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal" is in the entry 753:

№ of entry	Original name of the journal, the papers from which are included in International Database	ISSN (print)	ISSN (online)	Name of International Database
753	Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal		2075-8545	CA(pt), Scopus, WoS(ESCI)

The editors of the journal signed agreement with Scopus to include papers of the journal in database. According to information, received from Scopus, all content, starting from the issues published in January 2020 (No. 1/2020) and later, will be indexed in it. The authors confirm the fact that indexation has already started.

The information on inclusion of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» in Scopus is also available on the website of Scientific electronic library eLIBRARY.RU: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=28655:

INDEXATION:
RSCI: yes; РИНЦ: yes; ESCI: yes; Ядро РИНЦ: yes; Web of Science: yes;
The List of Higher Certification Committee: yes; Scopus: yes; CrossRef: yes; DOAJ: yes.

The editors of the journal invite leading scientists and specialists to publish their materials in the edition. If you have any questions, contact us by e-mail: info@nanobuild.ru.

We are hoping for productive cooperation with you.

Respectfully yours, the editors of the electronic edition
"Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal"

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» включено в Scopus

Уважаемые авторы и читатели журнала!

Сообщаем Вам, что электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал»(ISSN 2075-8545) включено в Scopus.

На сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации размещена **Справочная информация об отечественных изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования** (по состоянию на 31 марта 2021 года), ссылка: https://vak.minobrnauki.gov.ru/uploader/loader?type=19&name=3408291001&f=7864

В Перечне в п. 753 – информация по журналу «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал»:

№ п/п	Оригинальное название журнала, статьи из которого входят в МБД	ISSN (print)	ISSN (online)	Название МБД
753	Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал		2075-8545	CA(pt), Scopus, WoS(ESCI)

Редакцией журнала заключено соглашение со Scopus на размещение материалов журнала. В соответствии с информацией, полученной из Scopus, будут индексировать весь контент, начиная с выпусков, опубликованных в январе 2020 года или после этой даты, т.е. с № 1/2020. По отзывам авторов журнала размещение материалов уже началось.

Информация о включении электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» в Scopus есть также на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, ссылка: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=28655:

ИНДЕКСАЦИЯ:
RSCI: да; РИНЦ: да; ESCI: да; Ядро РИНЦ: да; Web of Science: да;
Перечень ВАК: да; Scopus: да; CrossRef: да; DOAJ: да.

Редакция журнала приглашает ведущих ученых и специалистов к публикации материалов в журнале. По всем вопросам просим обращаться по электронной почте (e-mail: info@nanobuild.ru).

Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

С уважением, редакция электронного издания
«Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал»

APPLICATION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-52-62
Article type: Original article

X-ray spectral methods for measuring the degree of ordering of carbon nanoparticles

D.G. Letenko*, Yu.V. Pukharenko, I.U. Aubakirova
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
*** Corresponding author:** e-mail: dletenko@mail.ru

ABSTRACT: Methods for the quantitative assessment of the content of ordered structures in the products of synthesis of fulleroid materials based on the spectra of characteristic X-ray radiation and X-ray diffraction are considered. The **introduction** shows that the use of carbon fulleroid materials (fullerenes, fullerenols and their compounds, fulleroid nanoparticles) as modifiers of the properties of various structural materials and plasticizers of concrete mixes is currently one of the most rapidly developing areas in the field of nanotechnology in construction.
Methods and materials. In this work, the following analytical control methods were used: scanning microscopy, local X-ray spectral analysis and X-ray diffractometry. The products of synthesis of fulleroid materials were studied: samples of fullerene-containing soot collected at different distances from the arc synthesis zone. Results. Raster images of the synthesis products with various magnifications are shown, as well as the X-ray fluorescence spectra and the elemental composition of the synthesis products. The X-ray phase analysis of the synthesis products was carried out. It is shown that the analysis of the amorphous component of the composition, which is one of the products of the yield, will make it possible to control the synthesis at each stage and under various conditions of its implementation.
Analysis of a nonlinear dynamic system. To construct an attractor of a dynamic system, the correlation dimension, the dimension of the phase space and the fractal dimension of the process under study were calculated. The correlation dimension and the dimension of the phase space were calculated using the Takens' method. The fractal dimension is calculated using the Hurst exponent.
Conclusions. To study the dynamics of chemical reactions occurring during arc synthesis, the system of differential Rössler attractor is used. A solution to this system is obtained – Rössler attractor – an attracting set of trajectories in the phase space, which is identical in appearance to the process under study, which makes it possible to estimate, relying on attractors characteristic of each sample (synthesis material), at what stage the synthesis process occurs, and by making differential model, to organize the control to improve the quality of output products. Thus, the possibility of evaluating the efficiency of the synthesis of fulleroids used for the modification of building materials is demonstrated.

KEYWORDS: fulleroids, X-ray spectral analysis, diffractometry, attractor, Hurst exponent, phase space, fractal dimension, dynamic system, Rössler model.

FOR CITATION: Letenko D.G., Pukharenko Yu.V., Aubakirova I.U. X-ray spectral methods for measuring the degree of ordering of carbon nanoparticles. Nanotechnologies in Construction. 2021; 13(2): 52–62. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-52-62.

INTRODUCTION

At present one of the most dynamically developing areas in the field of nanotechnology in construction is the use of carbon fulleroid materials (fullerenes, fullerenols and their compounds, fulleroid nanoparticles) as modifiers of the properties of various building materials and plasticizers of concrete mixes [1–4].

In the production of fulleroid materials by the arch synthesis method [5], the synthesis product is the carbon powder, which mainly consists of the amorphous carbon, represented by a loose globular structure. The useful components of the synthesis product fullerenes and fulleroid nanoparticles have an ordered structure. When solving some material science problems, amorphous carbon is not an interfering component; however, to use

© Letenko D.G., Pukharenko Yu.V., Aubakirova I.U., 2021

the mix it is necessary to know the quantitative composition of the amorphous phase exactly [6–8]. In addition, when checking the synthesis process, it is necessary to control the yield of fulleroid materials promptly, which is a complex analytical problem.

During the synthesis of fulleroid materials, dissipative spatial and temporal structures that appear far from the equilibrium form a non-equilibrium order. In chemical dissipative systems, this order includes the manifestation of oscillations and waves of matter density [9].

In the processes of chemical synthesis, the destruction and the emergence of any structures means that fluctuations characteristic of the ongoing chemical reaction has to play the role of "noise" and turn into a factor of creating the ordered reaction products – a dynamic system appears, so the study in the processes of chemical synthesis, the destruction and the emergence of any structures means that fluctuations characteristic of the ongoing chemical reaction cease to play the role of "noise" and turn into a factor of creating ordered reaction products – a dynamic system appears, thus this work is devoted to the study of the properties of the dynamic system.

As the useful components of the synthesis are represented by the particles with an ordered structure located in amorphous carbon globules, it is advisable to apply X-ray structural and local X-ray fluorescence research methods for this study.

METHODS AND MATERIALS

The following analytical control methods were used in this experiment: scanning microscopy, local X-ray spectral analysis, and X-ray diffractometry.

Research of the products of fulleroid materials synthesis was carried out: Sample C1÷C5 – samples of fullerene-containing soot collected at different distances from the arc synthesis zone by the method described in [10].

Several analytical measurements were made using the following devices to define the structures formed during the synthesis:

1. The microstructure of the obtained samples was studied by the scanning electron microscope TESCAN VEGA 3SEM (Czech Republic)

2. The X-ray fluorescence spectra and the elemental composition of the synthesis products were studied using the X-ray fluorescent attachment PentaFET Precision (Oxford Instruments, GB), and the INCA package, which allows determining the elemental composition of the synthesis products and their mass amount. (CONDITIONS OF MEASUREMENT: HV = 20.000e3, SpecimenCurrent = 681.611721612e-12, SpotSize = 272.683916892e-9) Calculations of the elements concentrations included in the analyzed products were made by the method of fundamental parameters.

3. The X-ray phase analysis of the synthesis products was performed using a D2 PHASER diffractometer (Bruker, Germany).

RESULTS

Figure 1 shows raster images of the synthesis products at various magnifications. The scale factor in Figure 1, image a is 60 μm, for images b and c – 5 μm, image a is the general structure of the synthesis products, images b and c are individual globules of amorphous carbon and carbon nanotubes.

The X-ray fluorescence spectra and the elemental composition of the synthesis products are shown in Figure 2 and Table 1.

In Fig. 3, the spectra of the products are compared, which makes it possible to compare the composition of elements for further transformations.

To identify the structure, the X-ray phase analysis of the synthesis products was carried out, the results of which are shown in Figure 4. It is obvious that the amorphous globules strongly influence the formation of the X-ray spectrum and complicate the phase identification. At the same time, the analysis of the amorphous component of the composition, which is one of the output products, will make it possible to control the synthesis at each stage and under various conditions of its use.

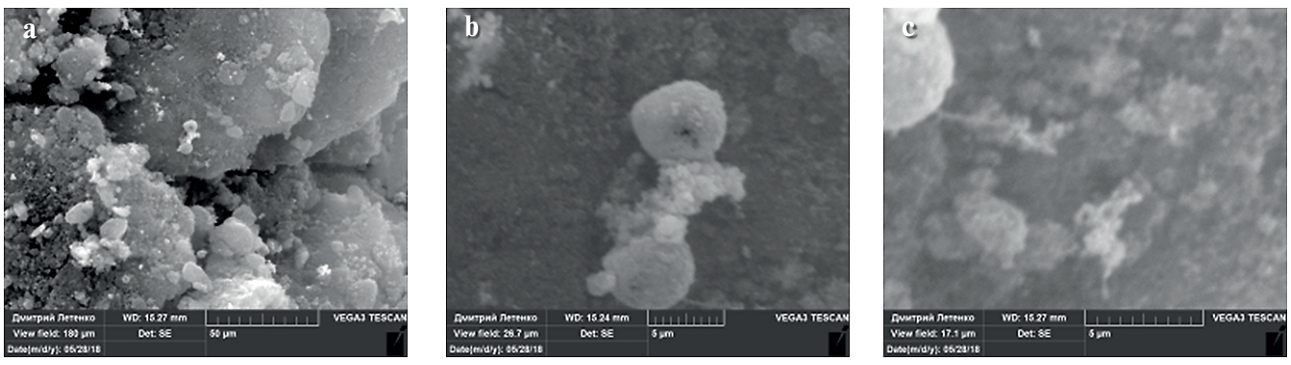


Fig. 1. **Bitmaps of synthesis products**

Sample 1

Sample 2

Sample 3

Sample 4

Sample 5

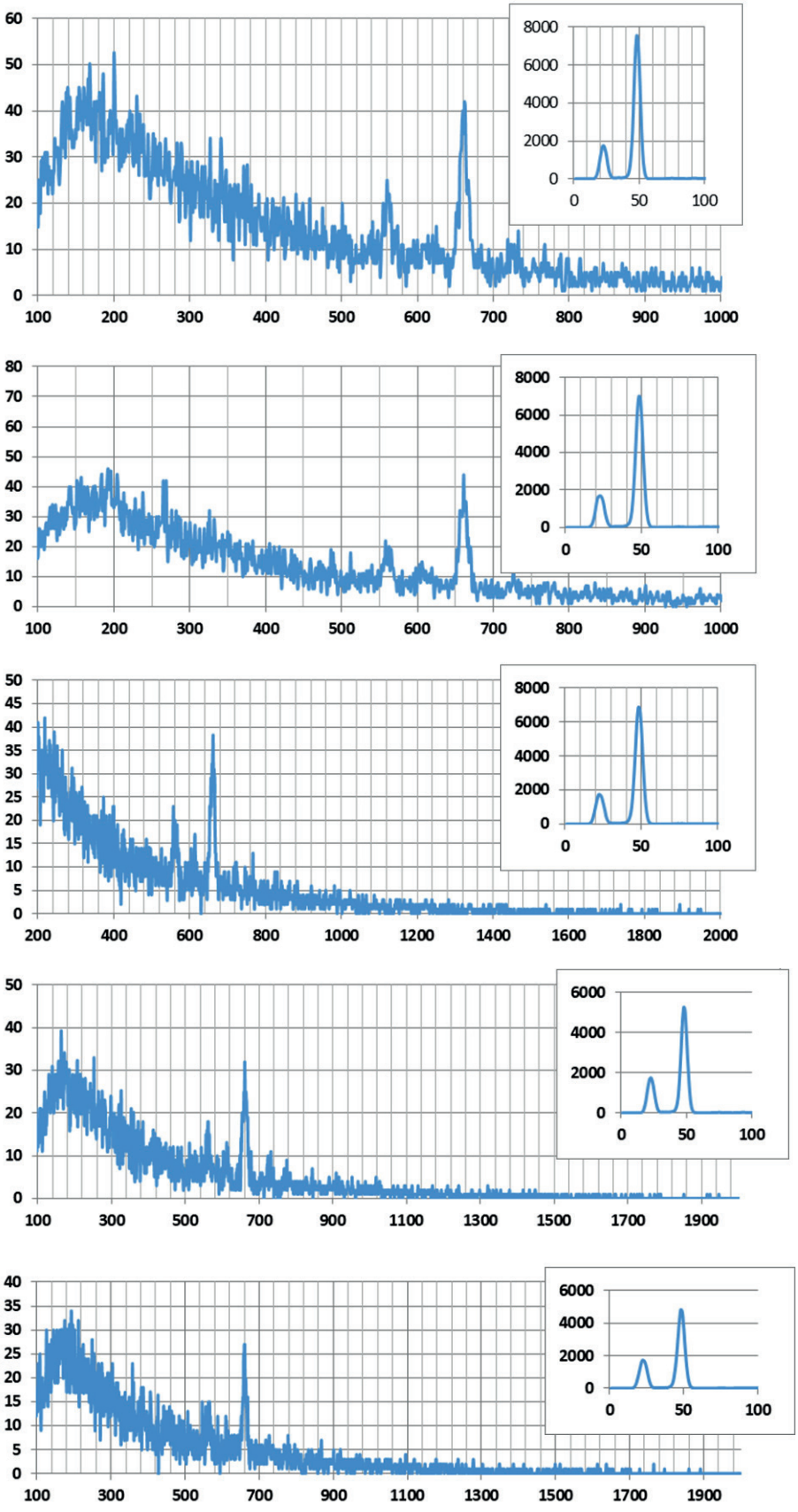


Fig. 2. **Energy-scaled X-ray fluorescence spectra of the studied samples**

Table 1
Results of X-ray fluorescence analysis

Sample	Concentrations of the detected elements								
	C	O	Si	Ni	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
C1	97.54	2.46	–	–	–	–	–	–	–
C2	96.93	1.67	–	–	0.26	–	1.14	–	–
C3	95.98	2.63	–	–	0.37	–	1.02	–	–
C4	80.54	6.81	0.27	1.11	1.42	0.41	6.83	0.99	7.62
C5	96.3	2.14	–	–	–	–	0.6	–	0.95

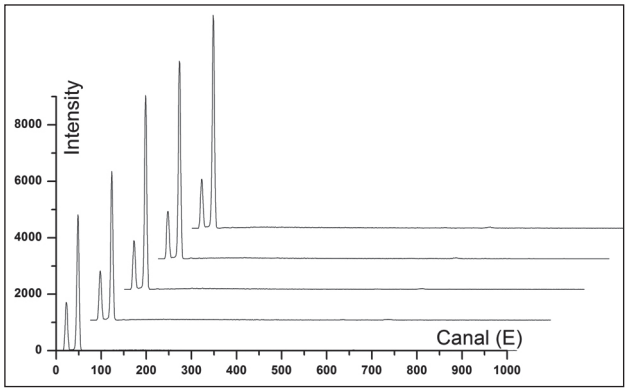


Fig. 3. **Comparison of X-ray fluorescence spectra of samples of synthesis products**

DISCUSSION

Structural and fluorescence spectra do not give an unambiguous answer for the composition of the synthesis products. This is clearly shown in Figures 2, 3 and 4. At the same time, the research results given in Table 1 show the difference in the elemental composition of each sample, and Figure 4 indicates the presence of different amorphous structures.

The synthesis process, the formation of products of various structures have the properties of nonlinear dynamic systems, which are characterized by temporal nonlocality, non-marking, heredity and ergodicity [11, 12]. The measure of the self-similarity of the synthesis products is the Hurst exponent, which shows the direction of the formation of an amorphous and ordered phase [13].

Analysis of a nonlinear dynamic system

A nonlinear dynamic system is fully characterized by an attractor – a compact subset of the phase space of a dynamical system, all trajectories of which tend to it with increasing time of the process. For dynamic systems with nonlinear properties, an attractor is a point or a set of points (closed curve) towards which the parameters of the state of the dissipative system tend, that is, the attractor determines the final state of the dissipative system [12, 14].

To construct an attractor of a dynamic system, it is necessary to calculate the correlation dimension, the dimension of the phase space and the fractal dimension of the process under study. The correlation dimension and the dimension of the phase space are calculated using the Takens' method. The fractal dimension is calculated using the Hurst exponent, which corresponds to random processes with independent increments [15], which is typical for chemical synthesis systems.

The Hurst exponent is calculated as follows

$$R/S = (\alpha\tau)^H, \quad (1)$$

where α – the constant Hurst coefficient equal to 1, τ – the number of measured values, R – the range of deviations of the number series, S – the standard deviation of the number series, H – the Hurst exponent.

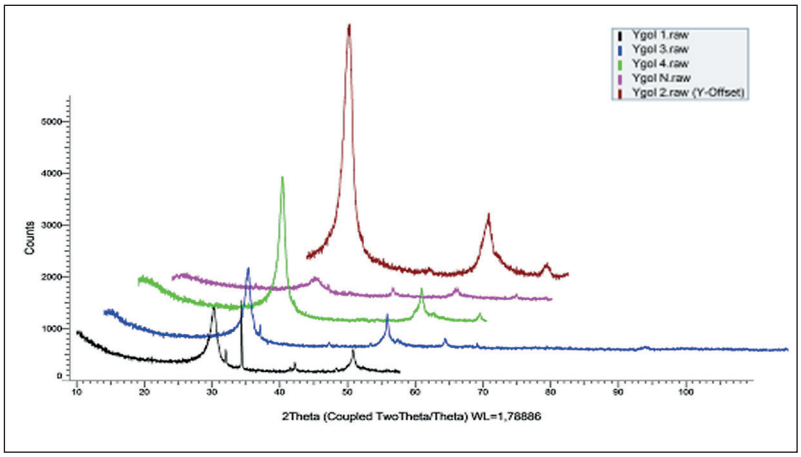


Fig. 4. **X-ray spectra of synthesis products**

If the Hurst exponent H = 0.5, then the increments characteristic of the process of obtaining some structures do not depend on the prehistory. If the inequality 0.5 ⩽ H < 1 holds, then the process under study is characterized by a long-term "memory". At 0 ⩽ H <0.5, the process is characterized by short-term "memory". If H > 1, then a subballistic development of the process takes place. That is, the Hurst exponent determines the measure of persistence – the propensity of the process to trends – fading, unstable equilibrium or to development [12]. It should be noted that the fractal dimension of the attractor (phase space) is calculated from the Hurst exponent as: $D = 2–H$.

The basis for the procedure for constructing an attractor is Takens' theorem for set embedding operations. According to Takens' theorem, for almost all smooth dynamical systems, based on the measured realization of the observed dynamical variable, one can construct an attractor whose properties will be identical to the original phase trajectory. To calculate the characteristics of the attractor, it is necessary to have a set of points M defined in the phase space of dimension n: $M \geqslant M_{min} = 10^{2+0,D}$, where D is the fractal dimension of the attractor [12, 14].

To calculate the characteristics of an attractor of a real dynamic system, the model and dimension of the phase space of which are unknown, it is necessary to know data about the behavior of the dynamic variable. In our case, this is the change in the intensity of the secondary X-ray radiation, which depends on the fluorescence energy, and the dependence of the intensity of scattering of the radiation of the X-ray tube on the Bragg angle.

For experimental data, the dimension of the phase space is, as a rule, unknown, while the correlation dimension of the attractor Dcor first increases and then reaches a constant level. The correlation dimension is related to the dimension of the phase space as follows [14]:

$$D_{cor} = D_{ph} + \frac{\varepsilon e^{-(\frac{\varepsilon}{2\sigma})^2}}{\sigma\sqrt{\pi}\, erf(\frac{\varepsilon}{2\sigma})}, \quad (2)$$

where $\varepsilon = r/r_{max}$ is the normalized range, σ – the noise level (standard deviation), $erf(\varepsilon/2\sigma)$ – the integral of the errors (tabulated).

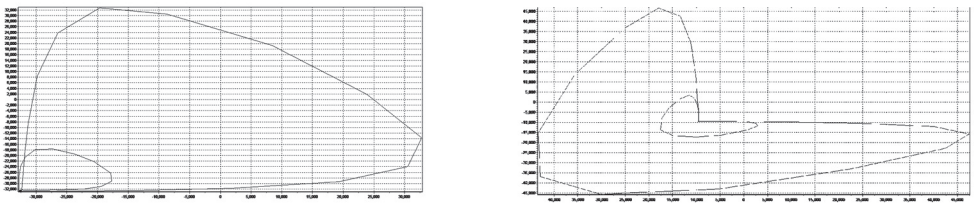
The important consequence of the analytical result is that even at ε = 3σ, the correlation dimension grows with an increase in the embedding dimension.

Table 2 and Figure 5 show the calculation results for the X-ray fluorescence spectra obtained by the Takens' and Hurst methods.

Table 2
Dimensional characteristics of X-ray fluorescence spectra

Sample	Correlation dimension	Phase space dimension	Hurst exponent	Fractal dimension
Sample 1	1.68	6	0.65	1.34
Sample 2	1.61	4	0.66	1.33
Sample 3	0.34	1	0.62	1.38
Sample 4	0.33	1	0.62	1.37
Sample 5	0.36	1	0.63	1.37

No. 1



No. 2

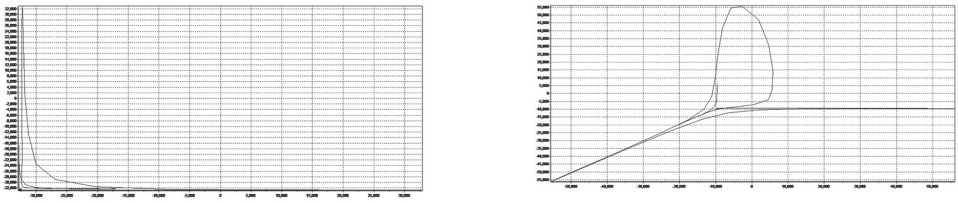
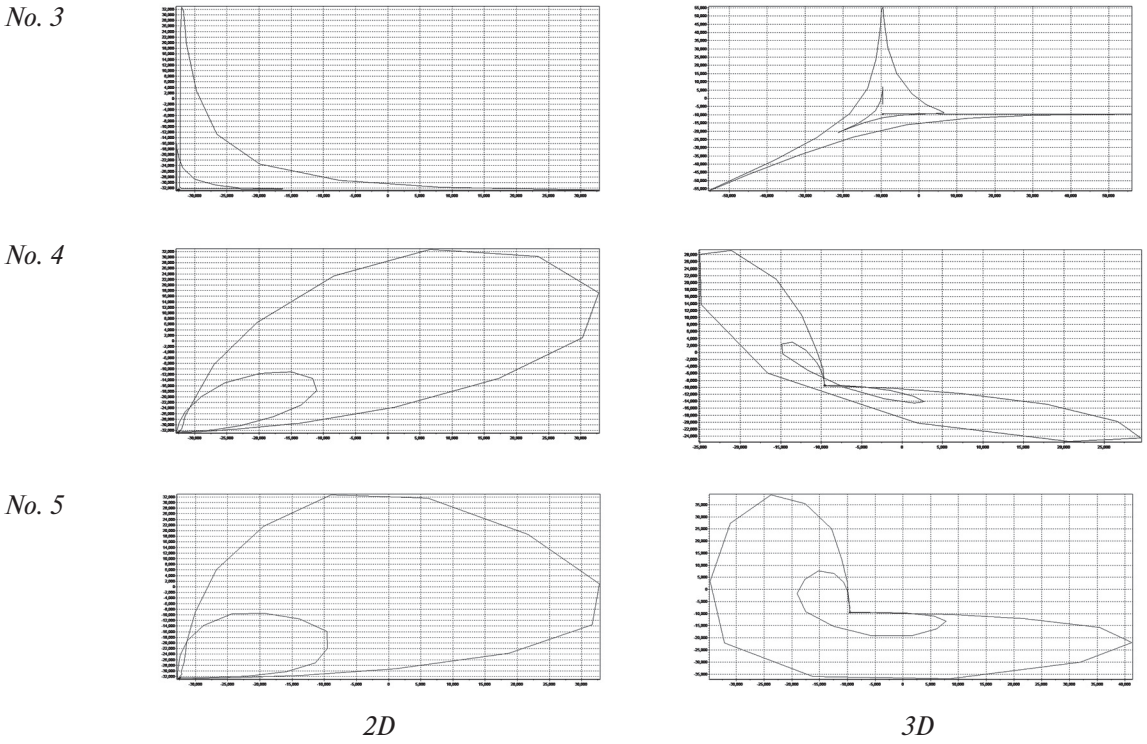


Fig. 5. **Attractors of samples 1–5 constructed according to the results of X-ray fluorescence measurements**



End of fig. 5. **Attractors of samples 1–5 constructed according to the results of X-ray fluorescence measurements**

Table 3 and Figure 6 show the results of calculations for the structural spectra obtained by the Takens' method and the Hurst method.

The attractors were constructed using the FRACTAN 4.4 software based on the measurement results without preliminary processing.

Comparing images 2 and 3, it can be seen that the calculated attractor and its dimensional characteristics both for the X-ray fluorescence and for the structural spectrum make it possible to expand the information content of the identification of synthesis products.

Fig. 7 shows a comparison of the initial spectra of fluorescence and structural analysis and their 2D and 3D attractors, constructed according to the calculations from Tables 2 and 3, respectively.

CONCLUSIONS

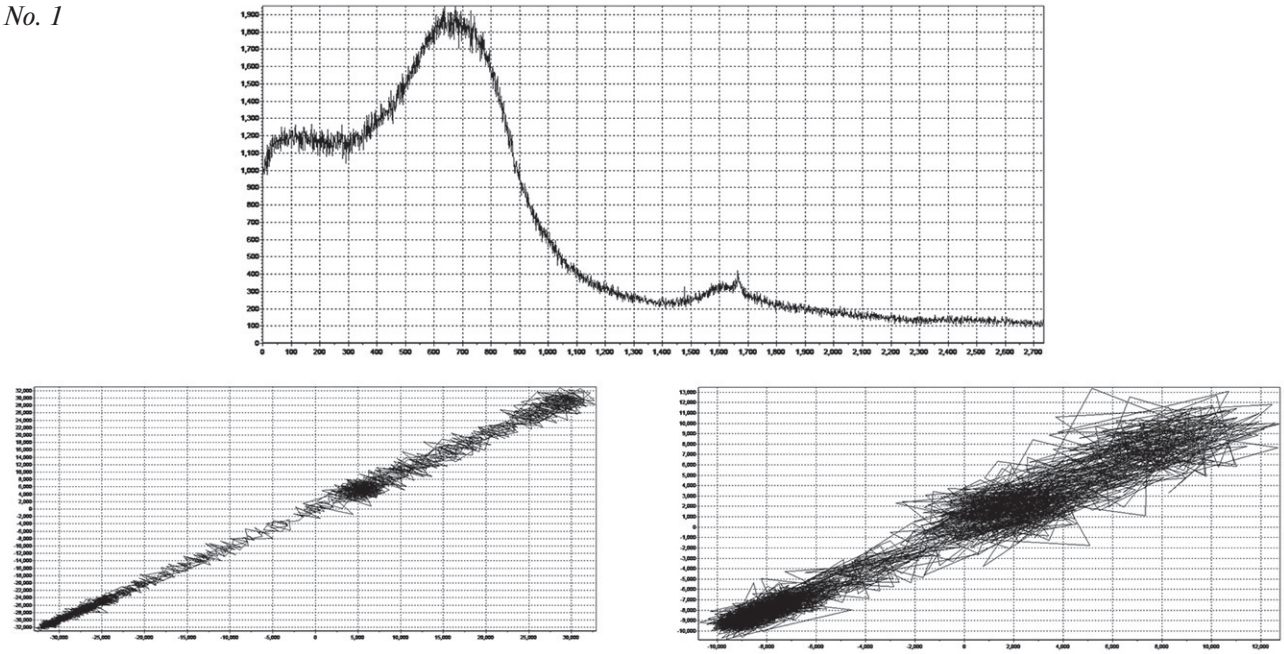
In the study of the dynamics of chemical reactions occurring in mixtures with stirring, the system of Rössler differential equations corresponding to a linear oscillator with a negative damping coefficient and feedback is actively used: The differential Rössler model serves as an example of multidimensional systems, the dynamics of which can be approximated by a one-dimensional mapping. The solution of the Rössler model for certain parameters is the Rössler attractor – an attracting set of trajectories on the phase space, which in its form is identical to the process under study [14, 16].

The Rössler attractor is generated by stochastic self-oscillations, which are supported in a dynamic system by

Table 3
The dimensional characteristics of the structural spectra

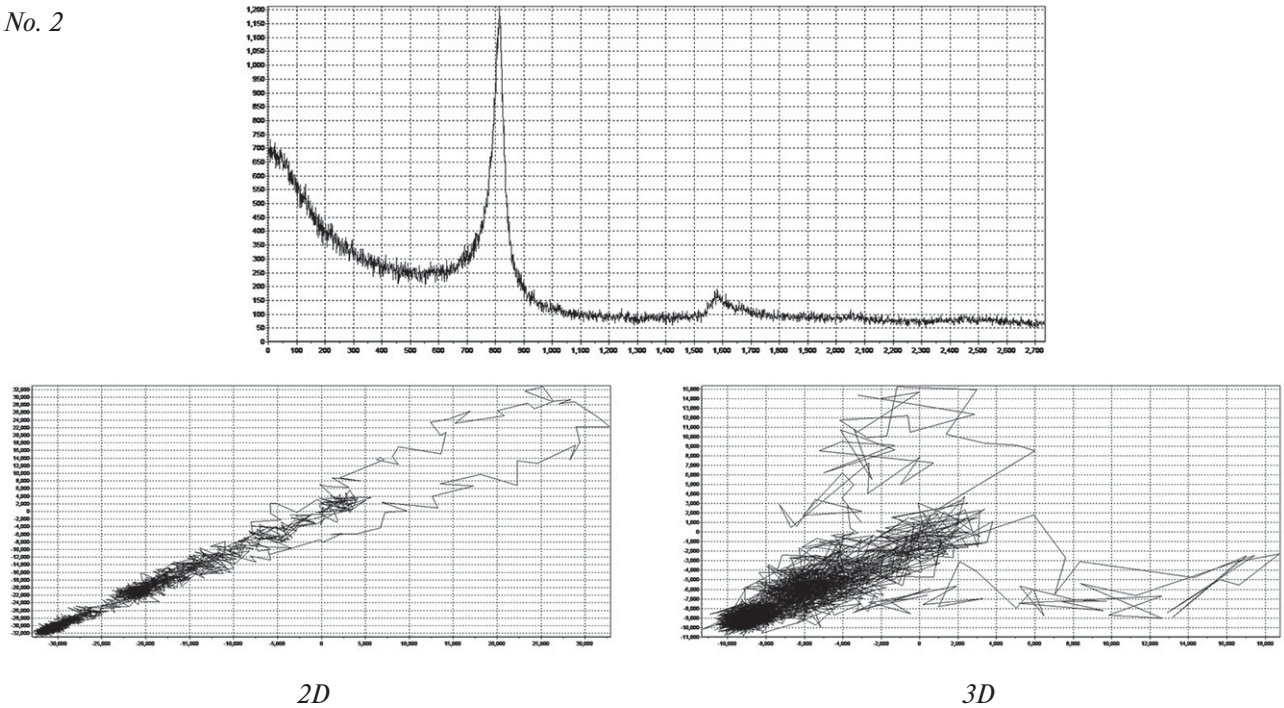
Sample	Correlation dimension	Phase space dimension	Hurst exponent	Fractal dimension
Sample 1	6.4	9	1.14	0.854
Sample 2	7.9	12	1.011	0.988
Sample 3	7.3	10	1.059	0.941
Sample 4	6.9	10	1.024	0.897
Sample 5	6.9	8	1.038	0.961

No. 1



2D *3D*

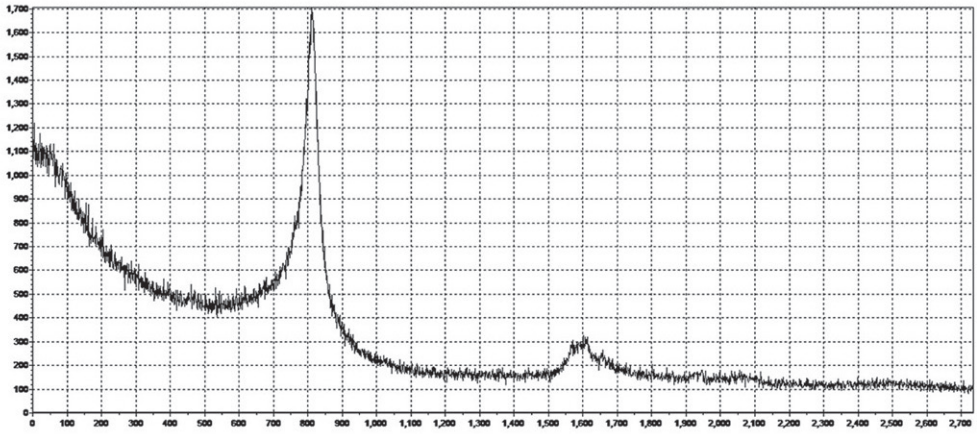
No. 2

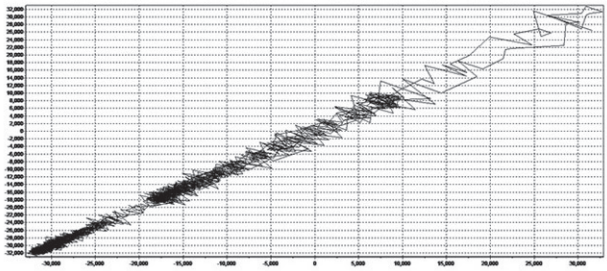


2D *3D*

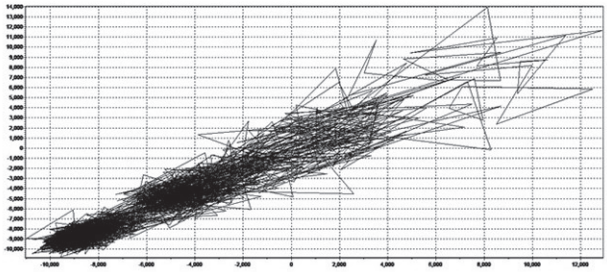
Fig. 6. **Attractors of samples 1–5 built from the results of structural measurements**

No. 3



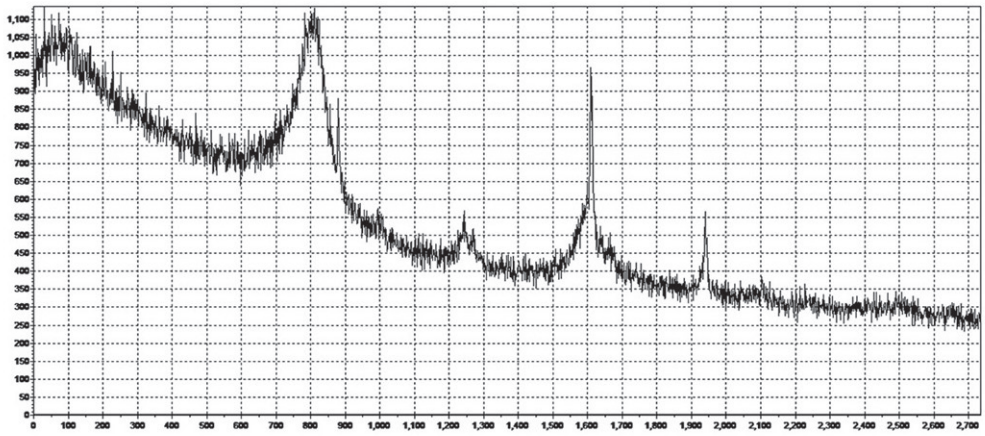


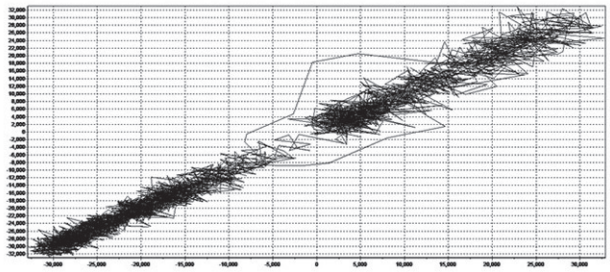
2D



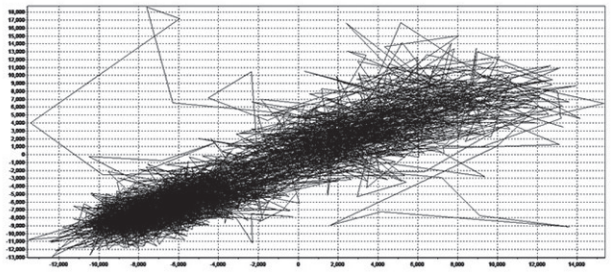
3D

No. 4





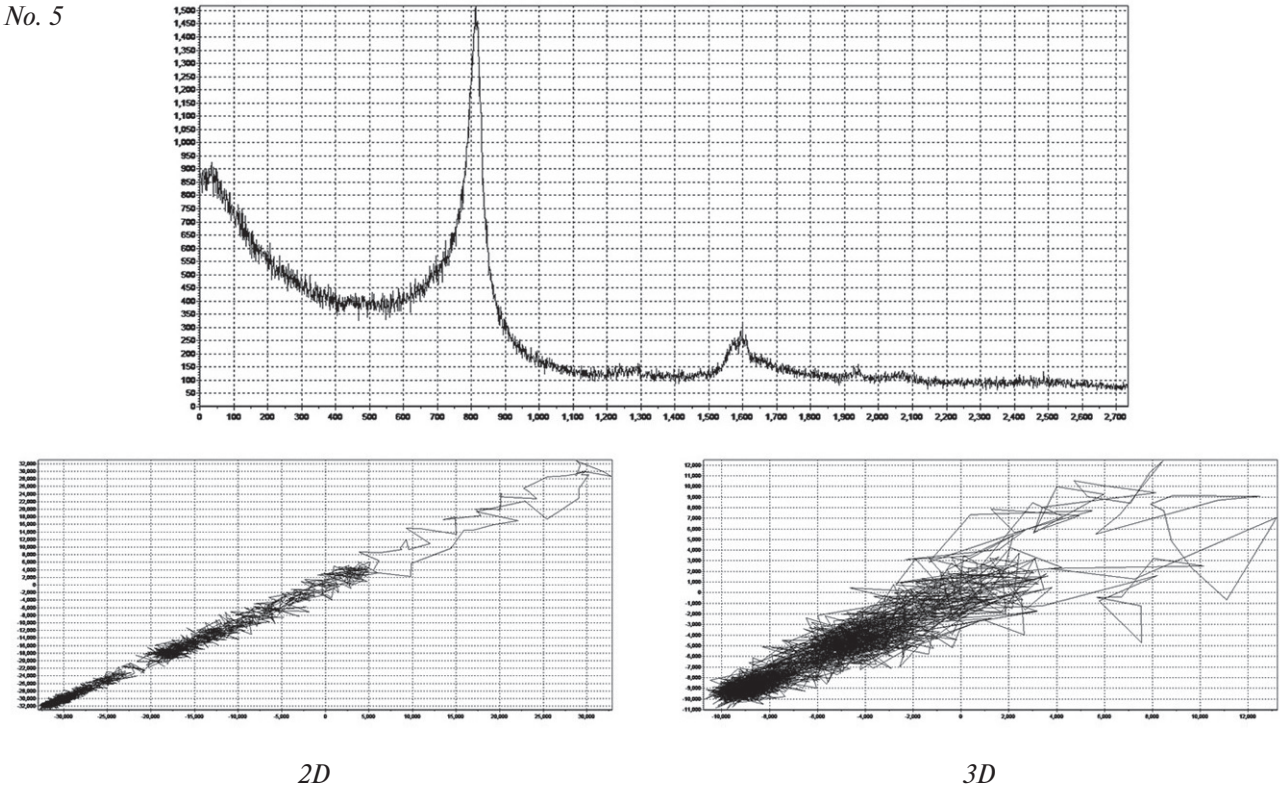
2D



3D

Continuation of fig. 6. **Attractors of samples 1–5 built from the results of structural measurements**

No. 5



2D *3D*

End of fig. 6. **Attractors of samples 1–5 built from the results of structural measurements**

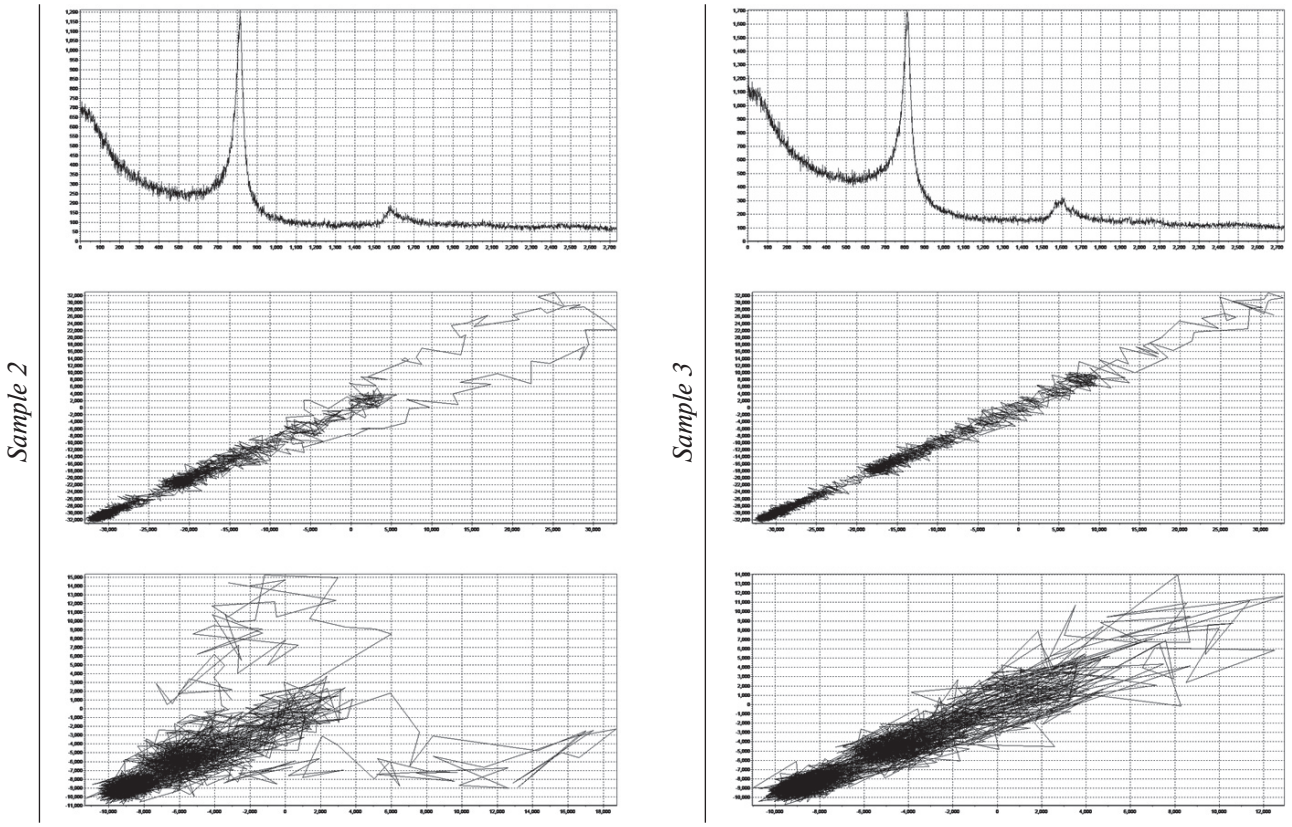
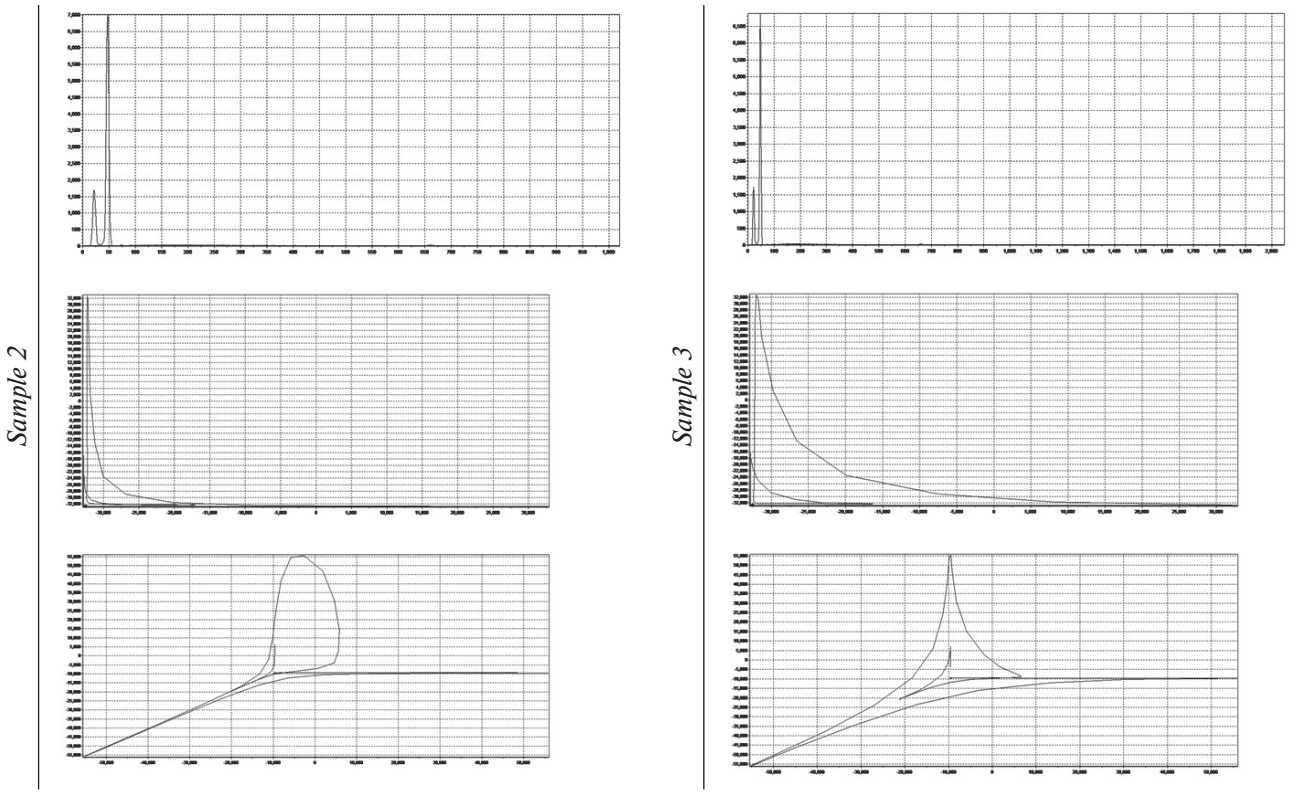


Fig. 7. **Comparison of spectra and attractors of samples 2 and 3. Structural spectra**



End of fig. 7. **Comparison of spectra and attractors of samples 2 and 3. X-ray fluorescence spectra**

an external source, in the case of synthesis – the addition of necessary components and products obtained as a result of reactions. The physical meaning of the Rössler model describes the transition of laminar fluid motion to turbulent motion.

The system of differential equations, the solution of which leads to the Rössler attractor, has the form:

$$\dot{x} = -y - z,$$
$$\dot{y} = x + ay,$$
$$\dot{z} = b + z(x + \mu).$$

The model Rössler attractor has the form shown in Figure 8. 3D sections of attractors obtained on the basis of X-ray fluorescence spectra are close to the form of the Rössler phase trajectory. Accordingly, it is possible to estimate, relying on attractors characteristic for each sample (synthesis material), at what stage the synthesis process is, and, let us build a differential model, to exercise controls to improve the quality of the output products.

Attractors based on structural measurements have a slightly different meaning. When comparing samples 2 and 3, it can be seen that the process of the formation

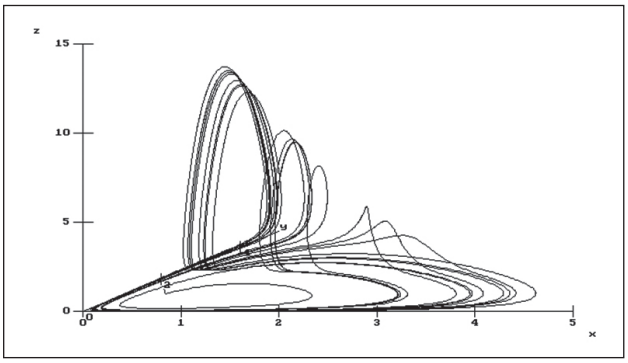


Fig. 8. **The model Rössler attractor**

of crystal structures is in the development stage with a clear change in the amorphous phase.

Thus, the use of methods for describing nonlinear dynamic systems in the interpretation of X-ray spectral and X-ray phase analysis data makes it possible to quantitatively assess the degree of ordering of carbon nanoparticles, which determines their effectiveness as modifiers of building materials.

REFERENCES

1. Pukharenko Y.V., Magdeev U.X, Bazhenov Y.M., Morozov V.I. Scientific and practical results of nanostructural modification of cement concretes. *Fundamental research by RAASN on the scientific provision of architecture, urban planning and construction industry of the Russian Federation in 2009*. Moscow – Ivanovo, 2010;2:111–116.

2. Pukharenko Y.V., Ryzhov D.I. On the effect of carbon fulleroid nanoparticles on the thermal output of the cement past. *Bulletin of Civil Engineers*. 2013;4(39):156–161.

3. Pukharenko Y.V., Kharitonova T.V. Lime based dry mixes with carbonate aggregates International. *Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019;8(11):3289–3292.

4. Aubakirova I.U. Nanomodified steel-fibrobeton for bridge structures. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2017;3(4):13–20.

5. Krätschmer W., Lamb L.D., Fostiropoulos K., Huffman D.R. Solid C60: A new form of carbon. *Nature*. 1990;347:354–359.

6. Letenko D.G., Nikitin V.A., Menshicova A.Yu., Puharenko Ju.V., Charykov N.A. Physical and chemical properties of aqueous dispersions of the hybrid fulleroide nano-carbon material (Part I). *Bulletin of Civil Engineers*. 2010;2(23):131–138.

7. Letenko D.G., Ivanov A.S., Matuzenko M.Yu., Nikitin V.A., Pukharenko Yu.V., Charykov N.A. Physical and chemical properties of aqueous dispersions of the hybrid fulleroide nano-carbon material (Part 2). *Bulletin of Civil Engineers*. 2010;3(24):117–122.

8. Letenko D.G., Semenov K.N., Charykov N.A., Keskinov V.A., Kulenova N.A., Saf'yannikov N. M., Duryagina N.N., Garamova P.V, Klepikov V.V., Zolotarev A.A., Ivanov A.S. Solubility, Thermal Analysis and Association in Water Solutions of the Adducts of Fullerene C60 with Lysine, L-Threonine, L-Hydroxiproline. *Smart Nanocomposites*. 2017;8(1):1–12.

9. Pavlov A.N., Ziganshin A.R., Anishchenko V. S. Multifractal analysis of time series. *News of the universities "ANM"*. 2001;9(3):39–52.

10. Letenko D.G., Nikitin V.A., Charykov N.A., Semenov K.N., Pukharenko Ju.V. Synthesis of carbon nanostructures from waste products of chemical industry. *Bulletin of Civil Engineers*. 2010;1(22):108–118.

11. Takens F. *Detecting strange attractors in turbulence*. In: Rand D.A., Young L.-S. Dynamical Systems and Turbulence. Lecture Notes in Mathematics. Springer-Verlag. 1981;898:366–381.

12. Hegger R., Kantz H., and Schreiber T. Practical implementation of nonlinear time series methods. *The TISEAN package, CHAOS 9*;1999;413.

13. Mandelbrot B.B. Fractals. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. 1987;5:579–593.

14. Ruelle D., Takens F. On the nature of turbulence. *Comm. Math. Phys*. 1971;20:167.

15. Alligood K.T., Sauer T.D., Yorke J.A. *Chaos: an Introduction to Dynamical Systems*. Springer; 1997;XVIII:603 p.

16. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand D.A., Young L.S. (eds.) Dynamical Systems and Turbulence: Lecture Notes in Mathematics. Heidelberg: Springer-Verlag; 1981;366–381.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry G. Letenko, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Associate Professor of Department «Technology of Construction Materials and Metrology», Saint Petersburg, SPbGASU, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1130-6158, e-mail: dletenko@mail.ru;

Yury V. Pukharenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding member of the Russian academy of architecture and building sciences, Head of Department «Technology of Construction Materials and Metrology», Saint Petersburg, SPbGASU, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1989-0595, e-mail: tsmm@spbgasu.ru;

Irina U. Aubakirova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Department «Technology of Construction Materials and Metrology», Saint Petersburg, SPbGASU, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4394-5453, e-mail: tsmm@spbgasu.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 26.01.2021.
Revised: 18.02.2021.
Accepted: 22.03.2021.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-52-62
УДК 691+538.975
Тип статьи: Оригинальная статья

Рентгеноспектральные методы измерения степени упорядоченности углеродных наночастиц

Д.Г. Летенко*, Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
***Контакты:** e-mail: dletenko@mail.ru

РЕЗЮМЕ: В работе рассмотрены методы количественной оценки содержания упорядоченных структур в продуктах синтеза фуллероидных материалов, по спектрам характеристического рентгеновского излучения и дифракции рентгеновского излучения. Во **введении** показано, что применение углеродных фуллероидных материалов (фуллерены, фуллеренолы и их соединения, фуллероидные наночастицы) в качестве модификаторов свойств различных конструкционных материалов и пластификаторов бетонных смесей является в настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся направлений в области нанотехнологий в строительстве. **Методы и материалы.** В настоящей работе применены следующие методы аналитического контроля: растровая микроскопия, локальный рентгеноспектральный анализ и рентгеновская дифрактометрия. Проводились исследования продуктов синтеза фуллероидных материалов: образцов фуллеренсодержащей сажи, собранной на разном расстоянии от зоны дугового синтеза. **Результаты.** Приведены растровые изображения продуктов синтеза с различными увеличениями, а также спектры рентгеновской флуоресценции и элементный состав продуктов синтеза. Проведен рентгенофазовый анализ продуктов синтеза. Показано, что анализ аморфной составляющей состава, которая является одним из продуктов выхода, позволит контролировать синтез на каждой стадии и при различных условиях его проведения. **Обсуждение.** Установлено, что однозначного ответа структурные и флуоресцентные спектры по составу продуктов синтеза не дают, так как процесс синтеза продуктов различной структуры обладает свойствами нелинейных динамических систем, которые характеризуются временной нелокальностью, немарковостью, эредитарностью и эргодичностью.
Анализ нелинейной динамической системы. Для построения аттрактора динамической системы рассчитана корреляционная размерность, размерность фазового пространства и фрактальная размерность исследуемого процесса. Корреляционная размерность и размерность фазового пространства рассчитана по методу Такенса. Фрактальная размерность вычислена с помощью показателя Херста. **Выводы.** Для исследования динамики химических реакций, протекающих при дуговом синтезе, применена система дифференциальных уравнений Рёсслера. Получено решение этой системы – аттрактор Рёсслера – притягивающее множество траекторий на фазовом пространстве, которое по своему виду идентично изучаемому процессу, что позволяет оценить, опираясь на аттракторы, характерные для каждого образца (материала синтеза), на какой стадии находится процесс синтеза, и, построив дифференциальную модель, осуществлять управление для повышения качества продуктов выхода. Таким образом показана возможность оценки эффективности процесса синтеза фуллероидов, применяемых для модификации строительных материалов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фуллероиды, рентгеноспектральный анализ, дифрактометрия, аттрактор, показатель Херста, фазовое пространство, фрактальная размерность, динамическая система, модель Рёсслера.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Летенко Д.Г., Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У. Рентгеноспектральные методы измерения степени упорядоченности углеродных наночастиц // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 52–62. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-52-62.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся направлений в области нанотехнологий в строительстве является применение углеродных фуллероидных материалов (фуллерены, фуллеренолы и их соединения, фуллероидные наночастицы) в качестве модификаторов свойств различных конструкционных материалов и пластификаторов бетонных смесей [1–4].

При производстве фуллероидных материалов методом дугового синтеза [5] продуктом синтеза явля-

© Летенко Д.Г., Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У., 2021

ется углеродный порошок, в основном состоящий из аморфного углерода, представленного рыхлой глобулярной структурой. При этом полезные компоненты продукта синтеза фуллерены и фуллероидные наночастицы имеют упорядоченную структуру. При решении некоторых материаловедческих задач аморфный углерод не является мешающим компонентом, однако для применения смеси необходимо точно знать количественный состав аморфной фазы [6–8]. Кроме того, при отладке процесса синтеза необходимо оперативно контролировать количество выхода фуллероидных материалов, что представляет сложную аналитическую задачу.

В процессе синтеза фуллероидных материалов диссипативные пространственные и временные структуры, возникающие вдали от равновесия, образуют неравновесный порядок. В химических диссипативных системах возникший порядок состоит в проявлении колебаний и волн плотности вещества [9].

В процессах химического синтеза разрушение и возникновение каких-либо структур означает, что флуктуации, характерные для протекающей химической реакции, перестают играть роль «шума» и переходят в фактор создания упорядоченных продуктов реакции – появляется динамическая система, исследованию свойств которой посвящена данная работа.

Так как полезные компоненты синтеза представлены частицами, имеющими упорядоченную структуру, размещенными в аморфных углеродных глобулах, то целесообразно применить для исследований рентгеноструктурные и локальные рентгенофлуоресцентные методы исследований.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В настоящей работе применены следующие методы аналитического контроля: растровая микроскопия, локальный рентгеноспектральный анализ и рентгеновская дифрактометрия.

Проводились исследования продуктов синтеза фуллероидных материалов: образец С1÷С5 – образцы фуллеренсодержащей сажи, собранной на разном расстоянии от зоны дугового синтеза по методу, описанному в [10].

Аналитические измерения по определению структур, образованных в процессе синтеза, проведены с помощью приборов:

1. Микроструктуру полученных образцов исследовали на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3SEM (Чехия).

2. Спектры рентгеновской флуоресценции и элементный состав продуктов синтеза изучались с помощью Рентгенофлуоресцентной приставки PentaFET Precision (Oxford Instruments, GB) и пакета INCA, который позволяет определить элементный состав продуктов синтеза и их массовое количество. (Условия измерений: HV = 20.000e3, SpecimenCurrent = 681.611721612e-12, SpotSize = 272.683916892e-9). Расчет концентраций элементов, входящих в состав анализируемых продуктов, проведен методом фундаментальных параметров.

3. Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза выполнен с помощью дифрактометра D2 PHASER (Bruker, Germany).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 приведены растровые изображения продуктов синтеза с различными увеличениями. Масштабный фактор на рис. 1, изображение a, составляет 60 мкм, для изображения b и c – 5 мкм. Изображение a – общая структура продуктов синтеза, изображения b и c – отдельные глобулы аморфного углерода и углеродные нанотрубки.

Спектры рентгеновской флуоресценции и элементный состав продуктов синтеза приведены на рис. 2 и в табл. 1.

На рис. 3 спектры продуктов приведены в сравнении, что позволяет провести сопоставление элементного состава для дальнейших преобразований.

Для выявления структуры проведен рентгенофазовый анализ продуктов синтеза, результаты которого

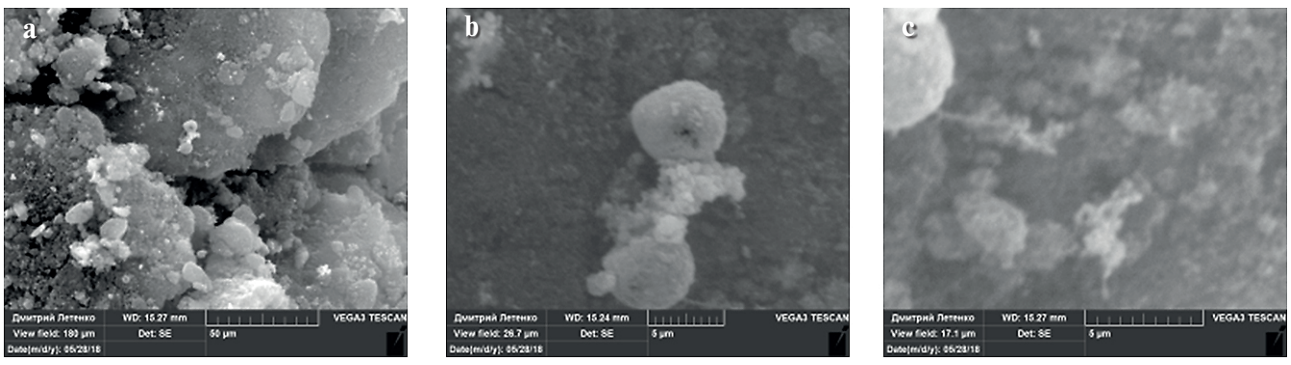
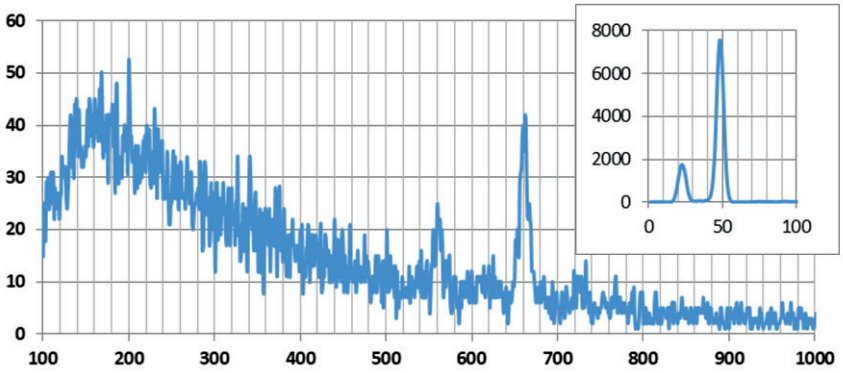
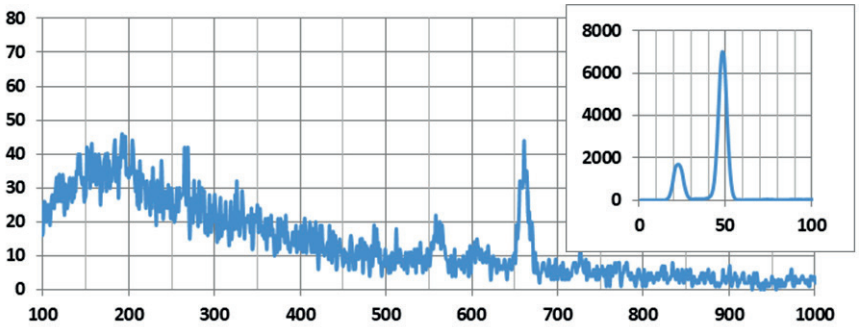


Рис. 1. **Растровые изображения продуктов синтеза**

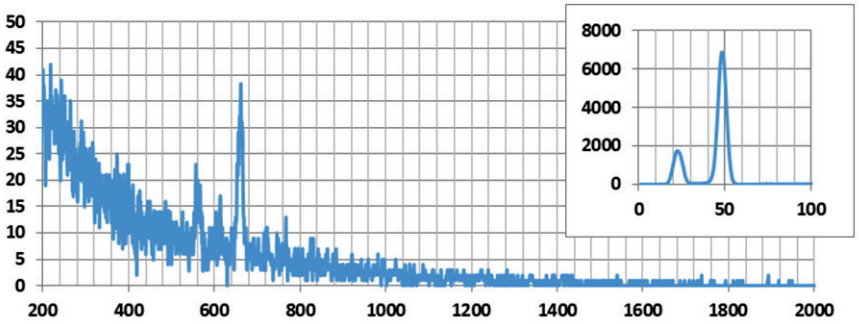
Образец 1



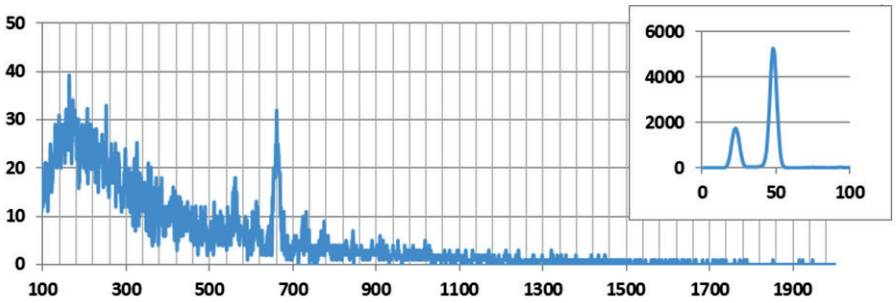
Образец 2



Образец 3



Образец 4



Образец 5

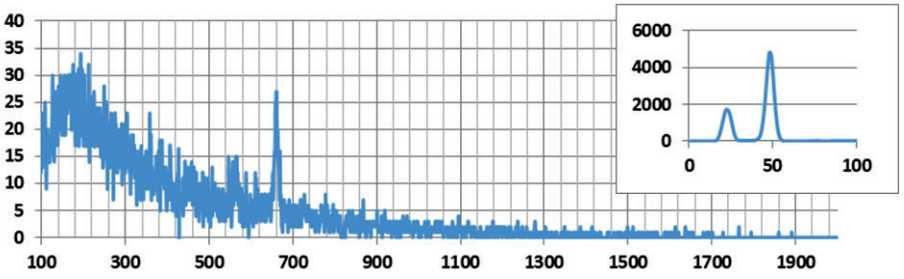


Рис. 2. **Масштабированные по энергии рентгеновской флуоресценции спектры исследуемых образцов**

Таблица 1
Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Образец	Концентрации обнаруженных элементов								
	C	O	Si	Ni	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
C1	97,54	2,46	–	–	–	–	–	–	–
C2	96,93	1,67	–	–	0,26	–	1,14	–	–
C3	95,98	2,63	–	–	0,37	–	1,02	–	–
C4	80,54	6,81	0,27	1,11	1,42	0,41	6,83	0,99	7,62
C5	96,3	2,14	–	–	–	–	0,6	–	0,95

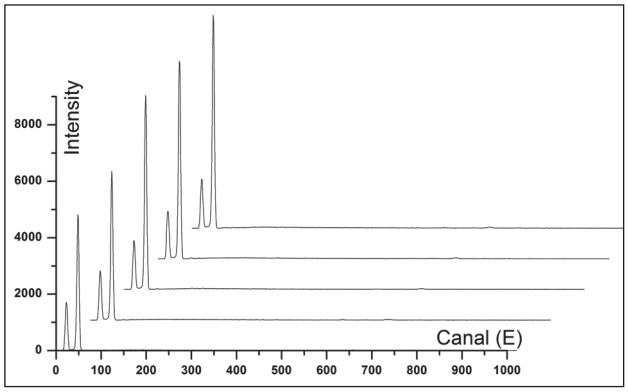


Рис. 3. **Сравнение спектров рентгеновской флуоресценции образцов продуктов синтеза**

приведены на рис. 4. Очевидно, что аморфные глобулы сильно влияют на формирование рентгеновского спектра и затрудняет фазовую идентификацию. В то же время анализ аморфной составляющей состава, которая является одним из продуктов выхода, позволит контролировать синтез на каждой стадии и при различных условиях его проведения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Однозначного ответа структурные и флуоресцентные спектры по составу продуктов синтеза не дают. Это наглядно показано на рис. 2, 3 и 4. В то же время результаты исследований, приведенные в табл. 1, показывают на различие в элементном составе каждого образца, а рис. 4 указывает на наличие разных аморфных структур.

Процесс синтеза, образование продуктов различной структуры обладают свойствами нелинейных динамических систем, которые характеризуются временной нелокальностью, немарковостью, эредитарностью и эргодичностью [11, 12]. Мерой самоподобия продуктов синтеза является показатель Херста, показывающий направление процесса образования аморфной и упорядоченной фазы [13].

Анализ нелинейной динамической системы

Нелинейную динамическую систему в полной мере характеризует аттрактор – компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории которой стремятся к нему при возрастании времени протекания процесса. Для динамических систем, обладающих нелинейными свойствами, аттрактор – это точка или множество точек (замкнутая кривая), к которым стремятся параметры состояния диссипативной системы, то есть аттрактор определяет конечное состояние диссипативной системы [12, 14].

Для построения аттрактора динамической системы необходимо рассчитать корреляционную размерность, размерность фазового пространства и фрактальную размерность исследуемого процесса. Корреляционная размерность и размерность фазового пространства рассчитывается по методу Такенса. Фрактальная раз-

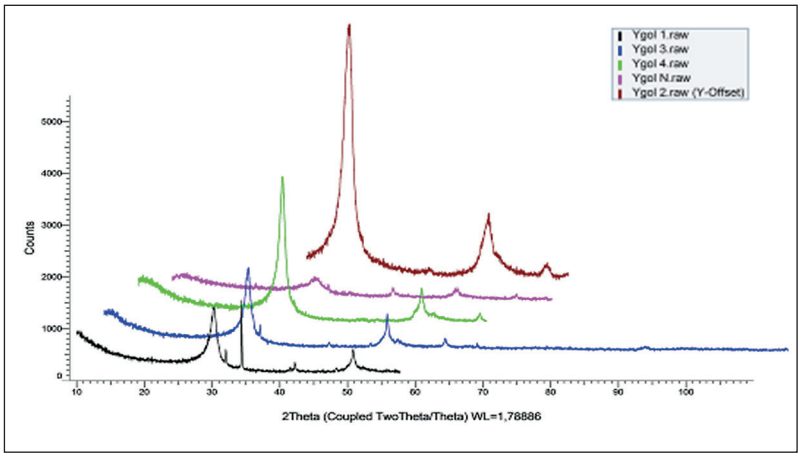


Рис. 4. **Рентгеновские спектры продуктов синтеза**

мерность вычисляется с помощью показателя Херста, который соответствует случайным процессам с независимыми приращениями [15], что характерно для систем химического синтеза.

Показатель Херста рассчитывается следующим образом:

$$R/S = (\alpha\tau)^H, \quad (1)$$

где α – постоянный коэффициент Херста, равный 1, τ – количество измеренных значений, R – размах отклонений числового ряда, S – стандартное отклонение числового ряда, H – показатель Херста.

Если показатель Херста H = 0,5, то приращения, характерные для процесса получения некоторых структур, не зависят от предыстории. Если выполняется неравенство 0,5 ⩽ H < 1, то исследуемому процессу присуща долговременная «память». При 0 ⩽ H <0,5 процесс характеризуется кратковременной «памятью». Если же H > 1, то имеет место суббаллистическое развитие процесса. То есть показатель Херста определяет меру персистентности – склонности процесса к трендам – затуханию, неустойчивому равновесию или к развитию [12]. Следует отметить, что фрактальная размерность аттрактора (фазового пространства) рассчитывается из показателя Херста как $D = 2–H$.

Основой для процедуры построения аттрактора является теорема Такенса для операций вложения множеств. По теореме Такенса почти для всех гладких динамических систем по измеренной реализации наблюдаемой динамической переменной можно сконструировать аттрактор, свойства которого будут идентичны исходной фазовой траектории. Для вычисления характеристик аттрактора необходимо иметь множество точек M, определенных в фазовом пространстве размерности n: $M \geqslant M_{min} = 10^{2+0,D}$, где D – фрактальная размерность аттрактора [12, 14].

Для вычисления характеристик аттрактора реальной динамической системы, модель и размерность фазового пространства которой неизвестны, необходимо знать информацию о поведении динамической переменной. В нашем случае это изменение интенсивности вторичного рентгеновского излучения, зависящей от энергии флуоресценции и зависимость интенсивности рассеяния излучения рентгеновской трубки от угла Брегга.

Для экспериментальных данных размерность фазового пространства, как правило, неизвестна, при этом корреляционная размерность аттрактора Dcor сначала возрастает, затем выходит на постоянный уровень. Корреляционная размерность связана с размерностью фазового пространства следующим образом [14]:

$$D_{cor} = D_{ph} + \frac{\varepsilon e^{-(\frac{\varepsilon}{2\sigma})^2}}{\sigma\sqrt{\pi}\, erf(\frac{\varepsilon}{2\sigma})}, \quad (2)$$

где $\varepsilon = r/r_{max}$ – нормированный размах, σ – уровень шума (стандартное отклонение), $erf(\varepsilon/2\sigma)$ – интеграл ошибок (табулированный).

Важное следствие аналитического результата состоит в том, что даже при ε = 3σ корреляционная размерность растет с увеличением размерности вложения.

В табл. 2 и на рис. 5 приведены результаты расчетов для рентгенофлуоресцентных спектров, полученные методом Таккенса и методом Херста.

В табл. 3 и на рис. 6 приведены результаты расчетов для структурных спектров, полученные методом Таккенса и методом Херста.

Аттракторы построены с помощью программы FRACTAN 4.4 по результатам измерений без предварительной обработки.

Сравнивая образы № 2 и 3, видно, что рассчитанный аттрактор и его размерные характеристики как для рентгенофлуоресцентного, так и для структурного спектра позволяют расширить информативность идентификации продуктов синтеза.

На рис. 7 показано сравнение исходных спектров флуоресцентного и структурного анализа и их 2D и 3D аттракторов, построенных по расчетам из табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2
Размерные характеристики рентгенофлуоресцентных спектров

Образец	Корреляционная размерность	Размерность фазового пространства	Показатель Херста	Фрактальная размерность
Образец 1	1,68	6	0,65	1,34
Образец 2	1,61	4	0,66	1,33
Образец 3	0,34	1	0,62	1,38
Образец 4	0,33	1	0,62	1,37
Образец 5	0,36	1	0,63	1,37

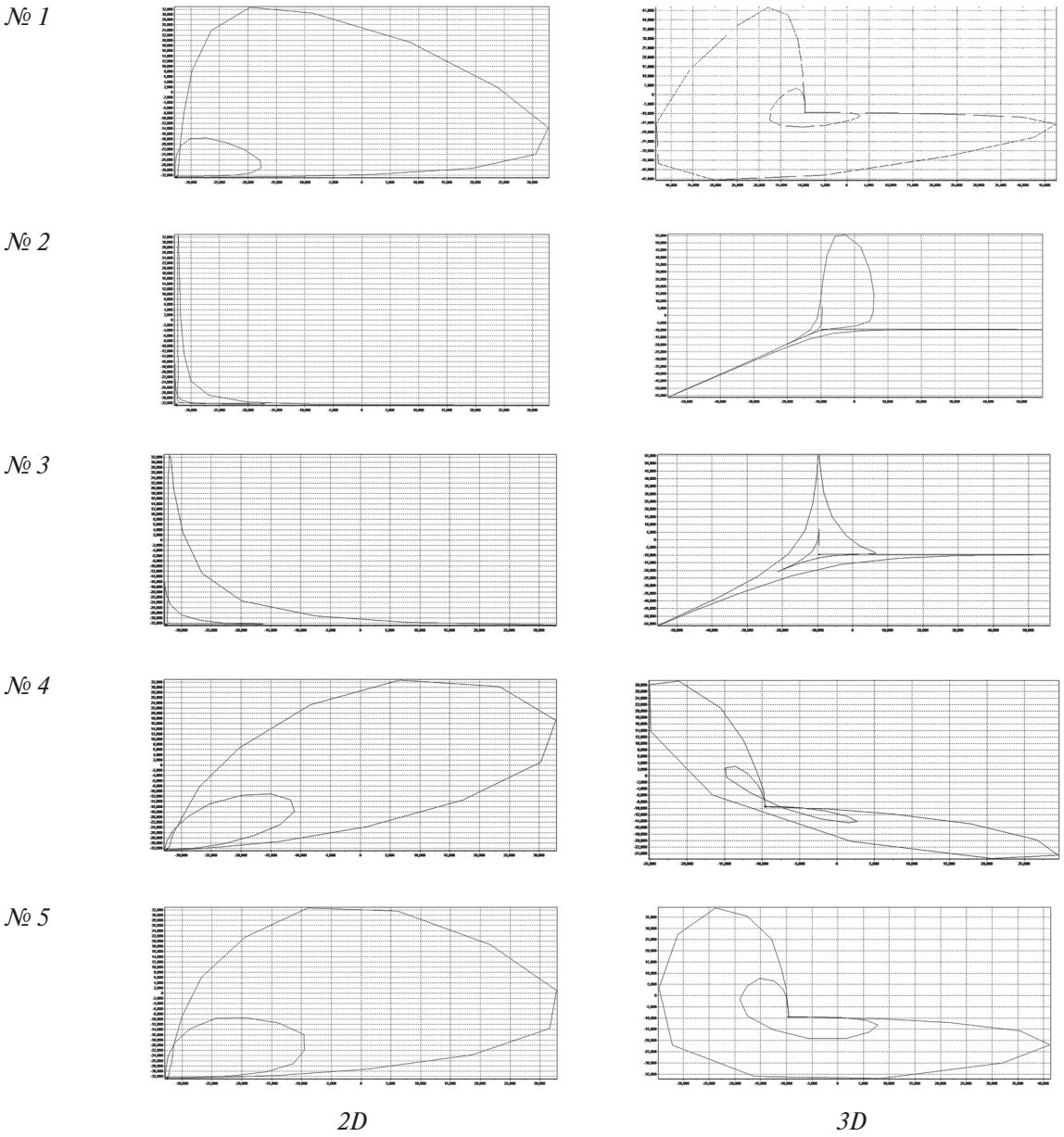
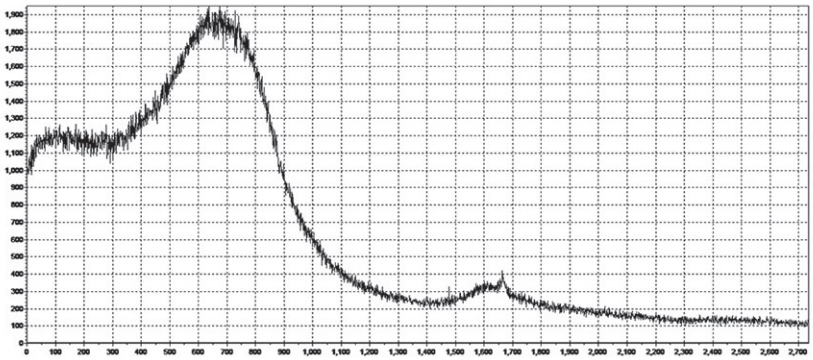


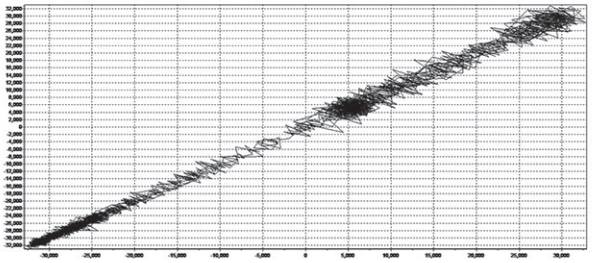
Рис. 5. **Аттракторы образцов 1–5, построенные по результатам рентгенофлуоресцентных измерений**

Таблица 3
Размерные характеристики структурных спектров

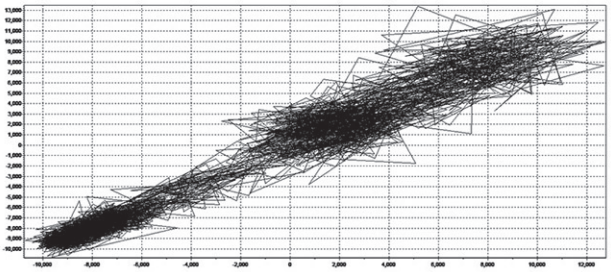
Образец	Корреляционная размерность	Размерность фазового пространства	Показатель Херста	Фрактальная размерность
Образец 1	6,4	9	1,14	0,854
Образец 2	7,9	12	1,011	0,988
Образец 3	7,3	10	1,059	0,941
Образец 4	6,9	10	1,024	0,897
Образец 5	6,9	8	1,038	0,961

№ 1



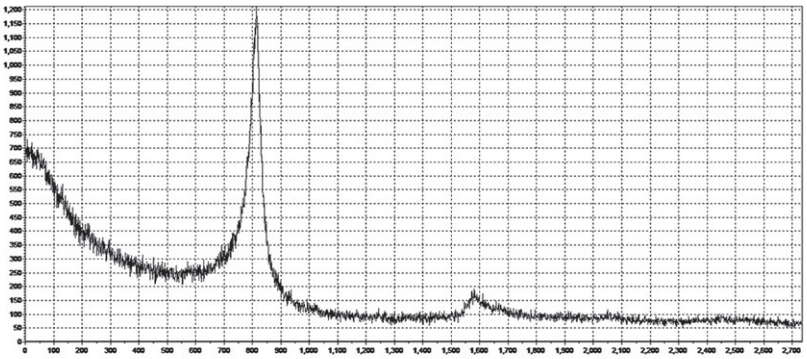


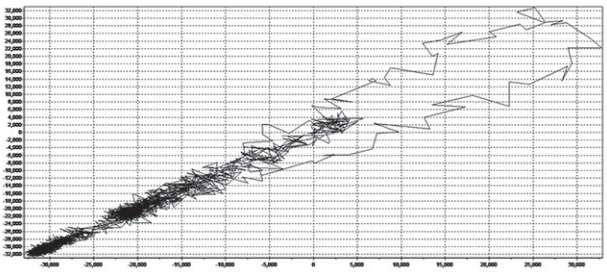
2D



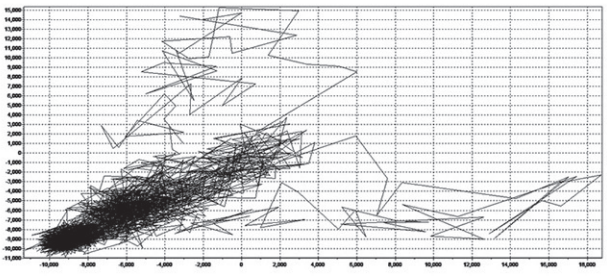
3D

№ 2





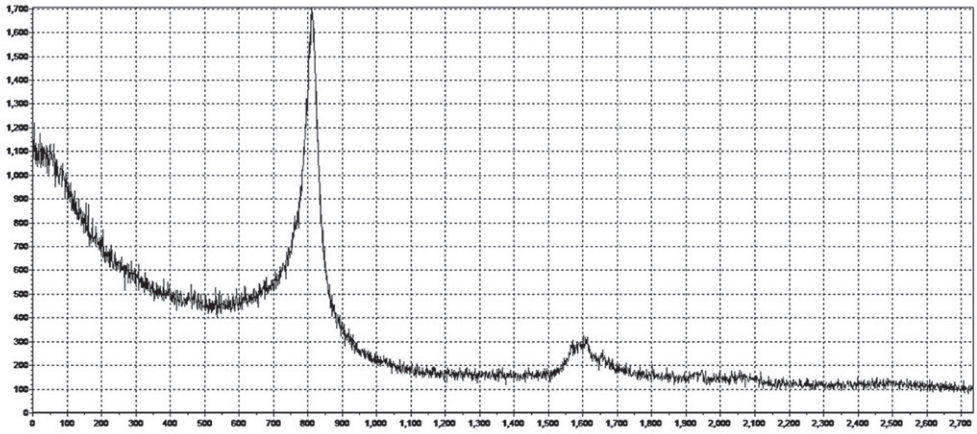
2D

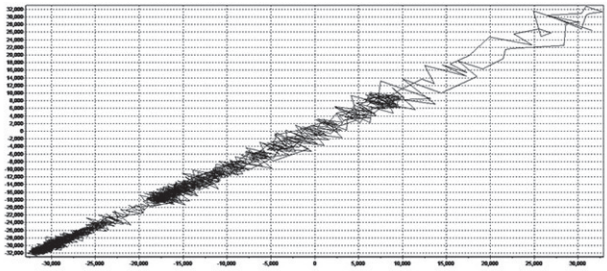


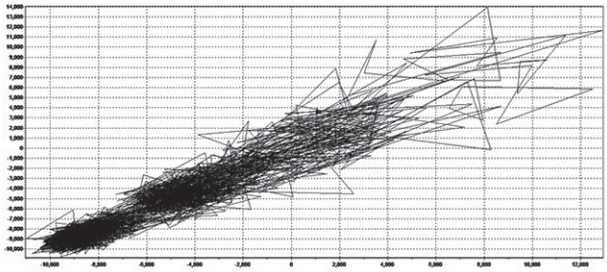
3D

Рис. 6. **Аттракторы образцов 1–5, построенные по результатам структурных измерений**

№ 3

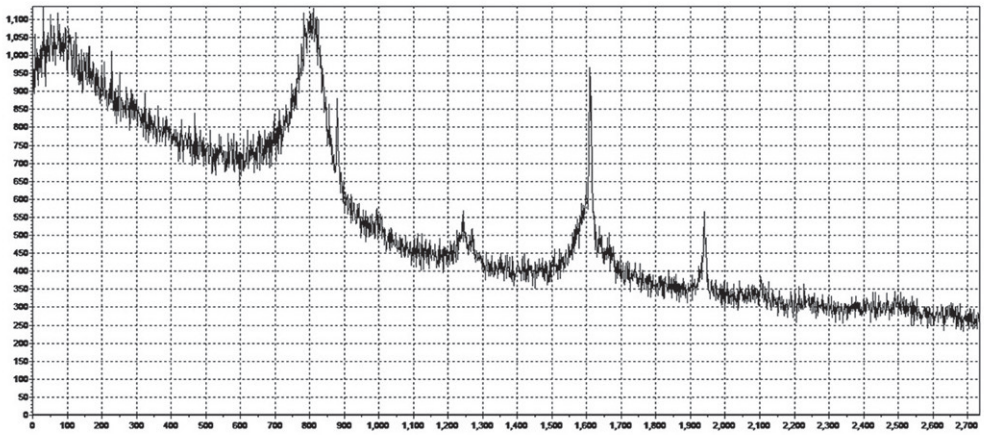


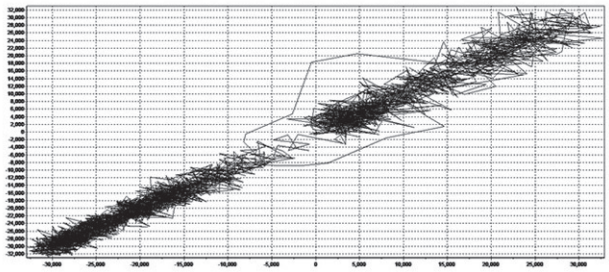


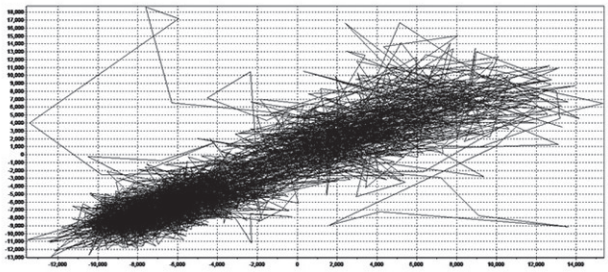


2D 3D

№ 4



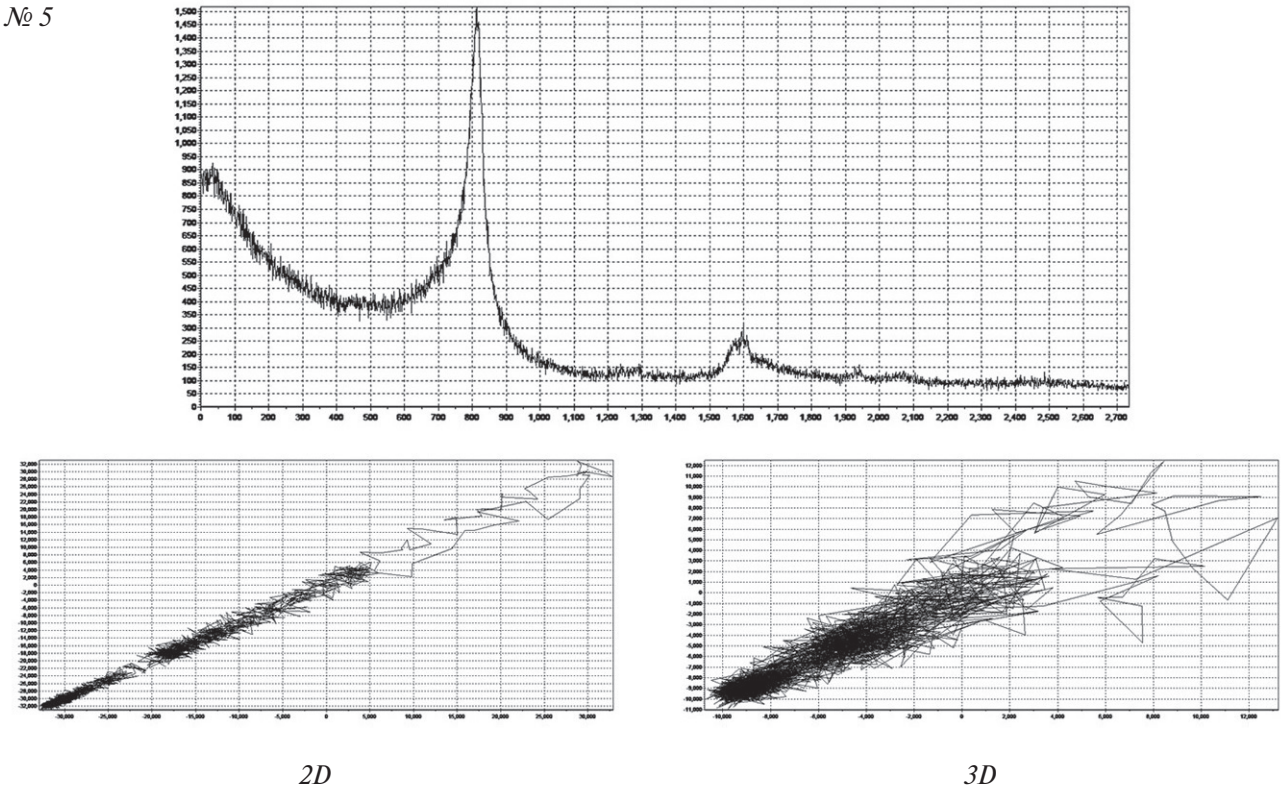




2D 3D

Продолжение рис. 6. **Аттракторы образцов 1–5, построенные по результатам структурных измерений**

№ 5



2D 3D

Окончание рис. 6. **Аттракторы образцов 1–5, построенные по результатам структурных измерений**

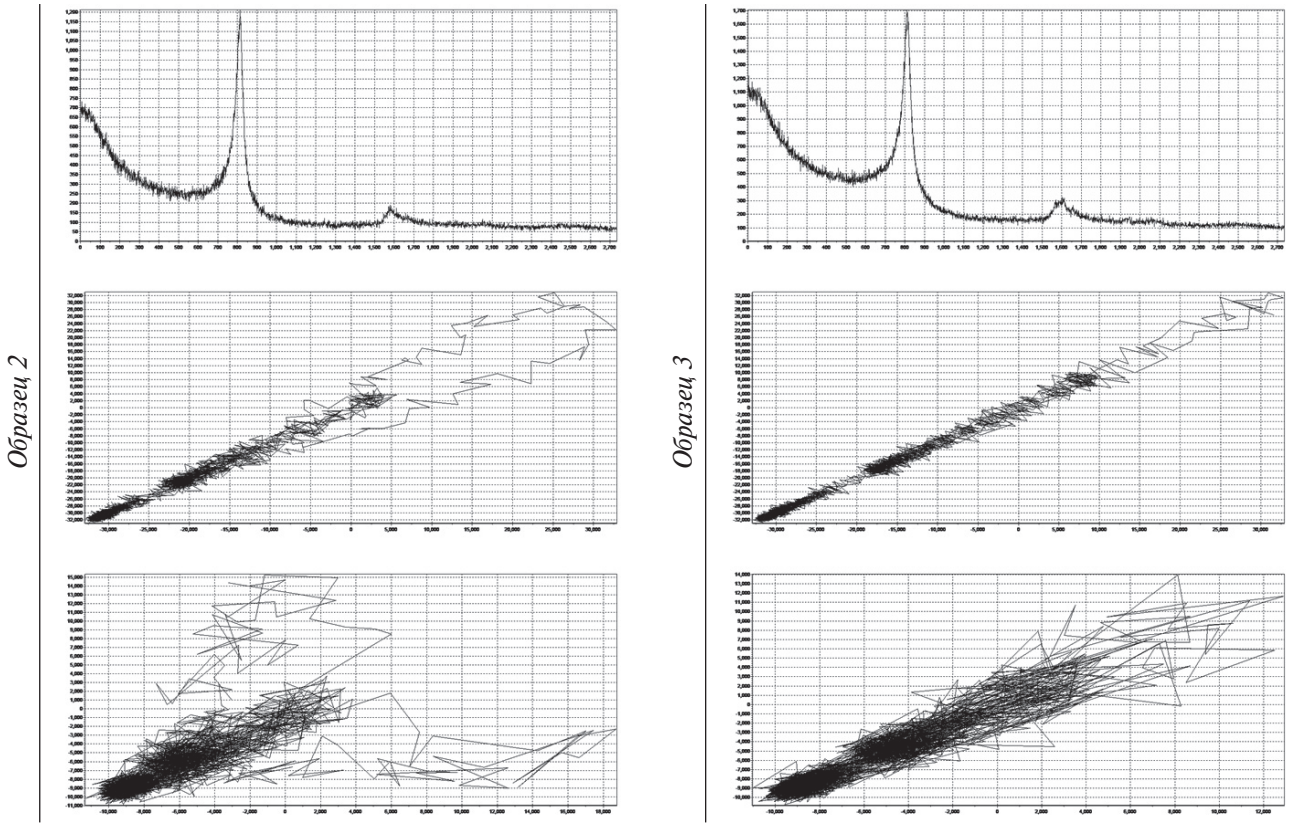
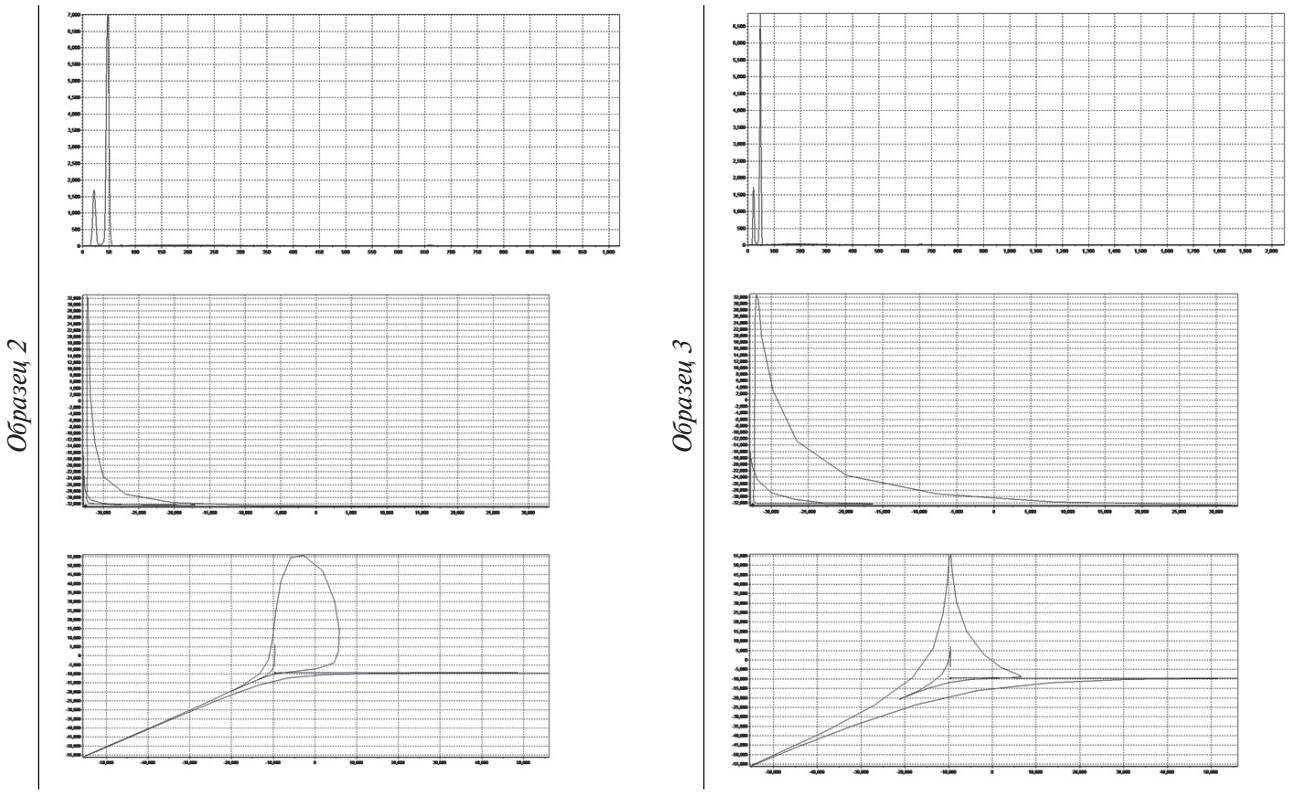


Рис. 7. **Сравнение спектров и аттракторов образцов № 2 и 3. Структурные спектры**



Окончание рис. 7. **Сравнение спектров и аттракторов образцов № 2 и 3. Рентгенофлуоресцентные спектры**

ВЫВОДЫ

При исследовании динамики химических реакций, протекающих в смесях с перемешиванием, активно применяется система дифференциальных уравнений Рёсслера, соответствующих линейному осциллятору с отрицательным коэффициентом затухания и обратной связью: $(dy^2/d^2x)-a(dy/dx)+y = -z$. Дифференциальная модель Рёсслера служит примером многомерных систем, динамика которых допускает аппроксимацию одномерным отображением. Решением модели Рёсслера при определенных параметрах является аттрактор Рёсслера – притягивающее множество траекторий на фазовом пространстве, которое по своему виду идентично изучаемому процессу [14, 16].

Аттрактор Рёсслера сгенерирован стохастическими автоколебаниями, которые поддерживаются в динамической системе за счет внешнего источника, в случае синтеза – добавление необходимых компонентов и продуктов, получаемых в результате реакций. Физический смысл модели Рёсслера описывает переход ламинарного движения жидкости к движению турбулентному.

Система дифференциальных уравнений, решение которой приводит к аттрактору Рёсслера, имеет вид:

$$\dot{x} = -y-z,$$
$$\dot{y} = x+ay,$$
$$\dot{z} = b+z(x+\mu).$$

Модельный аттрактор Рёсслера имеет вид, приведенный на рис. 8. 3D сечения аттракторов, полученные на основе рентгенофлуоресцентных спектров, близки к виду фазовой траектории Рёсслера. Соответственно, можно оценить, опираясь на аттракторы, характерные для каждого образца (материала синтеза), на какой стадии находится процесс синтеза, и построить дифференциальную модель, осуществляя управление повышения качества продуктов выхода.

Несколько другой смысл имеют аттракторы, построенные на основе структурных измерений. При

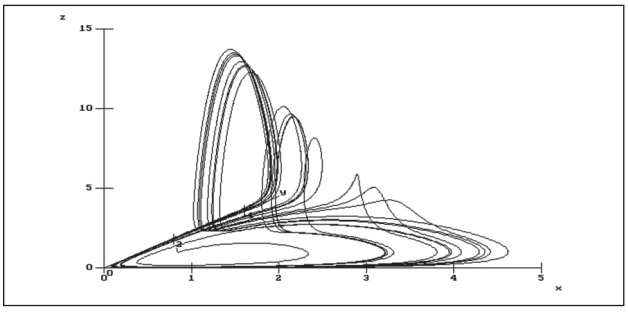


Рис. 8. **Модельный аттрактор Рёсслера**

сравнении образцов № 2 и 3 видно, что процесс образования кристаллических структур находится в стадии развития при явном изменении аморфной фазы.

Таким образом, применение методов описания нелинейных динамических систем при интерпретации данных рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа позволяет количественно оценивать степень упорядоченности углеродных наночастиц, определяющую их эффективность в качестве модификаторов строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пухаренко Ю.В., Магдеев У.Х., Баженов Ю.М., Морозов В. И. Научные и практические результаты наноструктурного модифицирования цементных бетонов // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2009 г. – Москва: Иваново, 2010. – 2. – 111 – 116.
2. Пухаренко Ю.В., Рыжов Д. И. О влиянии углеродных фуллероидных наночастиц на тепловыделение цементного теста // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – 4 (39). – 156 – 161.
3. Pukharenko Y.V., Kharitonova T.V. Lime based dry mixes with carbonate aggregates International. *Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019;8(11):3289–3292.
4. Аубакирова, И. У. Наномодифицированный сталефибробетон для мостовых конструкций // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – 3 (4). – 13–20.
5. Krätschmer W., Lamb L.D., Fostiropoulos K., Huffman D.R. Solid C60: A new form of carbon. *Nature*. 1990;347:354–359.
6. Летенко Д.Г., Никитин В.А., Меньшикова А.Ю., Пухаренко Ю.В., Чарыков Н.А. Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа. Часть1 // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – 2 (23). – 131–138.
7. Летенко Д.Г., Иванов А.С., Матузенко М.Ю., Никитин В.А., Пухаренко Ю.В., Чарыков Н.А. Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа. Часть2 // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – 3 (24). – 117-122.
8. Letenko D.G., Semenov K.N., Charykov N.A., Keskinov V.A., Kulenova N.A., Saf'yannikov N. M., Duryagina N.N., Garamova P.V, Klepikov V.V., Zolotarev A.A., Ivanov A.S. Solubility, Thermal Analysis and Association in Water Solutions of the Adducts of Fullerene C60 with Lysine, L-Threonine, L-Hydroxiproline. *Smart Nanocomposites*. 2017;8(1):1–12.
9. Павлов А.Н., Зиганшин А.Р., Анищенко В.С. Мультифрактальный анализ временных рядов. // Известия ВУЗов «ПНД». – 2001. – 9 (3). – 39-52.
10. Летенко Д. Г., Никитин В.А., Чарыков Н.А., Семенов К.Н., Пухаренко Ю.В. Получение углеродных наноструктур из отходов химических производств // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – 22 (1). – 108 – 118.
11. Takens F. *Detecting strange attractors in turbulence*. In: Rand D.A., Young L.-S. Dynamical Systems and Turbulence. Lecture Notes in Mathematics. Springer-Verlag. 1981;898:366–381.
12. Hegger R., Kantz H., and Schreiber T. Practical implementation of nonlinear time series methods. *The TISEAN package, CHAOS 9*;1999;413.
13. Mandelbrot B.B. Fractals. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. 1987;5:579–593.
14. Ruelle D., Takens F. On the nature of turbulence. *Comm. Math. Phys*. 1971;20:167.
15. Alligood K.T., Sauer T.D., Yorke J.A. *Chaos: an Introduction to Dynamical Systems*. Springer; 1997;XVIII:603 p.
16. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand D.A., Young L.S. (eds.) Dynamical Systems and Turbulence: Lecture Notes in Mathematics. Heidelberg: Springer-Verlag; 1981;366–381.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Летенко Дмитрий Георгиевич, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1130-6158, e-mail: dletenko@mail.ru

Пухаренко Юрий Владимирович, д.т.н., профессор, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, заведующий кафедрой «Технологии строительных материалов и метрологии» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1989-0595, e-mail: tsmm@spbgasu.ru;

Аубакирова Ирина Утарбаевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4394-5453, e-mail: tsmm@spbgasu.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 26.01.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 18.02.2021.
Статья принята к публикации: 22.03.2021.

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF NANOMATERIALS

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-63-72
Article type: Original article

Water purification from oil and petrol products by means of nano-porous super-hydrophilic materials

S.V. Kuligin[1], A.V. Kosyakov[1], P.V. Belov[2], A.A. Lapenko[1], A.D. Ishkov[3]*

[1] Limited liability company "Voronezhpenosteklo", Voronezh, Russia
[2] Limited liability company "LightOre", Voronezh, Russia
[3] National research state university of civil engineering in Moscow, Moscow, Russia

*** Corresponding author:** e-mail: aishkov@gmail.com

ABSTRACT: Introduction. This article reveals the research results of physical and chemical properties of the new filtering material, evaluation of its hydrophilic and oleophobic features as well as the efficiency of oil-in-water emulsions separation in laboratory conditions and in production. **Methods and materials.** As the base for creation of new filtering material a natural mixture of minerals with good prevalence of silicon earth also including some small amounts of fissile hydrous silicates (mica, clay) was chosen, which provide the durability of granulated end product at reservation of porosity and hydrophilic properties of the material surface. The research used spherical shape granules of various particle size obtained by drying, granulation and firing. Prior to filtration the granules are being impregnated with water aiming to obtain a water shell around each granule, which provides granules protection from oil and petrol products contamination as well as an easy filter cleaning by backwashing in fluidization mode.
For the lab testing of oil-in-water emulsions separation parameters a test rig was built. In process a set of various tool methods of physical and chemical research was used. **Results.** The chemical and mineral composition of the developed filtering material and the results of its X-ray-structural analysis, photomicrography of ground substrate obtained with SEM are given as well as the porous structure data (pores size distribution and aggregate pores of granules material) obtained by the method of low-temperature nitrogen adsorption. The results of laboratory and pilot testing of separating and accumulating ability of the filtering material are presented. **Interpretation.** The obtained data prove the fact that the developed material possesses over the prominent hydrophilic properties, while after water shell creation also over the oleophobic properties. Upon exploration of the two liquid immiscible phases separation during the filtering through the granules obtained, a significant efficiency growth of the filter after attaining the special amount of oil and petrol products retained by the filter was detected. The efficiency increase of the filter is connected with formation of a prolonged structure, which was named by the authors a "fluid net", created by the oil and petrol products entrapped. The strings of that "fluid net" being formed in the gaps between the granules are decreasing the sizes of the passages which lets the entrapping efficiency of finer oil and petrol products droplets grow.
Conclusion. The obtained nano-porous granules of the filtering material exhibit super-hydrophilic properties and based on the water shell created around them provide the following: protection of granules from contamination with oil and petrol products contained in water to be purified; effective and not decreasing over the course of time filter regeneration by means of backwashing in fluidization mode; quality of water purification from oil and petrol products at the level of the most expensive purification methods. **Prospective fields of applications.** The "OreFilter" technology developed has passed the pilot scale validation on the basis of more than fifty industrial objects of different industrial branches (mainly on those connected with oil production and oil refining) in Russia and abroad. The technology is now being tested on industrial objects in the Near East, Canada, US, Brazil and Australia. The industrial filtering units using "OreFilter" technology are already in operation on Russian enterprises as well as in Sweden and Germany. The experimental-industrial tests have proved the application efficiency of the technology developed: in food industry; at the detergents and soaps manufacturing plants; at mining and processing plants; at purification of ballast and bilge water at ports; at purification of polluted water after oil tankers washing; in fish farming; in seaquariums and dolphinariums.

KEYWORDS: water purification, filtering, emulsions separation, filtering materials, petrol, petrol products, oil and petrol products, open-porous granules.

FOR CITATION: Kuligin S.V., Kosyakov A.V., Belov P.V., Lapenko A.A., Ishkov A.D. Water purification from oil and petrol products using nano-porous super-hydrophilic materials. *Nanotechnologies in Construction.* 2021; 13(2): 63–72. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-63-72.

© Kuligin S.V., Kosyakov A.V., Belov P.V., Lapenko A.A., Ishkov A.D., 2021

INTRODUCTION

The petrol products are the most common pollutants of the waste water, whereas the hydrocarbon group of petrol, fuel oil, kerosene, oils and impurities thereof due to their high toxicity are among the top ten most dangerous pollutants of the environment acc. to UNESCO [1]. Therefore, the water purification from oil and petrol products refer to the highly important and public relevant environmental problems, which however are being solved insufficiently effective, since the creation of modern treatment systems requires implementation of new technologies and, as a result, considerable financial expenditures.

At present, the following methods of water cleaning from oil and petrol products are in practical work [2]:

- mechanical methods (screening, centrifugal separation, sedimentation, filtering);
- physical-chemical methods (floatation, sorption, extracting, coagulation, flocculation);
- chemical methods (ion exchange, neutralization, oxidation);
- biological methods (natural and artificial conditions).

A widely used wastewater treatment which is aimed at removing petrol products includes the following stages [3]:

- ***settlement*** – for removal of coarse free oil and petrol products followed by floatation to remove the finely dispersed and bound petrol products; this stage makes it possible to reduce the amount of petrol products in water to 20 mg/l;
- ***filtering*** – for the removal of finely dispersed and especially emulsified petrol products; this stage decreases the amount thereof in water to 10 mg/l;
- ***sorptive aftertreatment*** – brings the amount of petrol products in water down to 0.5–1.0 mg/l.

The more high-scale purification of water provides the method, the more expensive it comes accordingly. The mechanical water cleaning of petrol products using sedimentation and filtering is the most cost saving method of water treatment [4]. Whereas the filtering through various screens and cloths is used to remove coarse particles, the filters containing the material entrapping petrol products (quartz sand, expanded clay, foamed polystyrene, foamed polyurethane, anthracite, slags, porous granulated materials, fibrous materials etc.) as the filter bed allow oil containing water purification at higher scale. Thus, developing a filter bed of quality provides the possibility of higher quality of water purification from petrol products, which can be obtained only with more expensive (not mechanical) methods, reserving the main advantage of the mechanical method – low cost of the cleaning process.

LLC "Voronezhpenosteklo" has developed the innovative material – open-porous granules for demulsification [5–18], which surface cannot be wetted by petrol products since granules have a water shell around them. This shell formed due to the preliminary impregnation of granules with water, provides the protection thereof from pollution with oil and petrol products as well as an easy filter cleaning by backwashing in fluidization mode.

The goal of the present work has been the exploration of physical-chemical properties of the new filtering material, evaluation of its hydrophilic and oleophobic features as well as the effectiveness of oil-in-water emulsions separation in the laboratory and industrial conditions.

METHODS AND MATERIALS

At the core of the functional properties of the filtering material is the principle first described in the works of Kim P. and Wong T. [19]. It concerns creation of new super-hydrophobic SLIPS-coatings: to obtain a surface with wetting contact angle more than 120 degrees, one should use a nano-structured porous material impregnated with a fluid which wets the solid matrix well and is insolvable in the second (outer) fluid phase. However, the authors used a polymer nano-structured material (polypyrrole) impregnated with fluororganic agent (Krytox 100) to obtain the super-hydrophobic surface non-wettable by liquid water and having low adhesion to ice.

To reach the objectives of the present work it was necessary to find a material which could form the solid porous matrix possessing good wettability with water and which had sufficient mechanical strength. Some materials on the basis of amorphous silicon earth meet this requirement. Finally, a natural mixture of minerals with significant amorphous silica prevalence was chosen (see table 2) including among all some small amounts of fissile hydrous silicates (mica, clay) providing the durability of granulated end product at reservation of porosity and hydrophilic properties of the material surface. The researches have used spherical shape granules of various particle size obtained by drying, granulation and firing.

For the lab testing of oil-in-water emulsions separation parameters a test rig was built. The layout of the test rig is presented on Fig. 1.

For the practical implementation a design of the classic pressure filter for granulated filter bed was chosen. The system is represented by vertical cylindrical filter with distribution system below and above and with necessary fittings of pipes and shutoff valves.

The centrifugal emulsifier used allowed to obtain the oil emulsion with drops size in the range of 5 to 80 μm with max. content of drops sized 20 μm.

The petrol concentration (density 0.984 g/cm^3) at filter inlet equaled 1 g/l. The filter was filled with granulated bed of the grade 0.7–1.7 mm, preliminary impregnated with water. Filter bed thickness made 200 mm.

For verification of the method and filtering mechanism described a pilot testing on cleaning of bottom water on heavy oil producing sites (density 0.984 g/cm^3) was

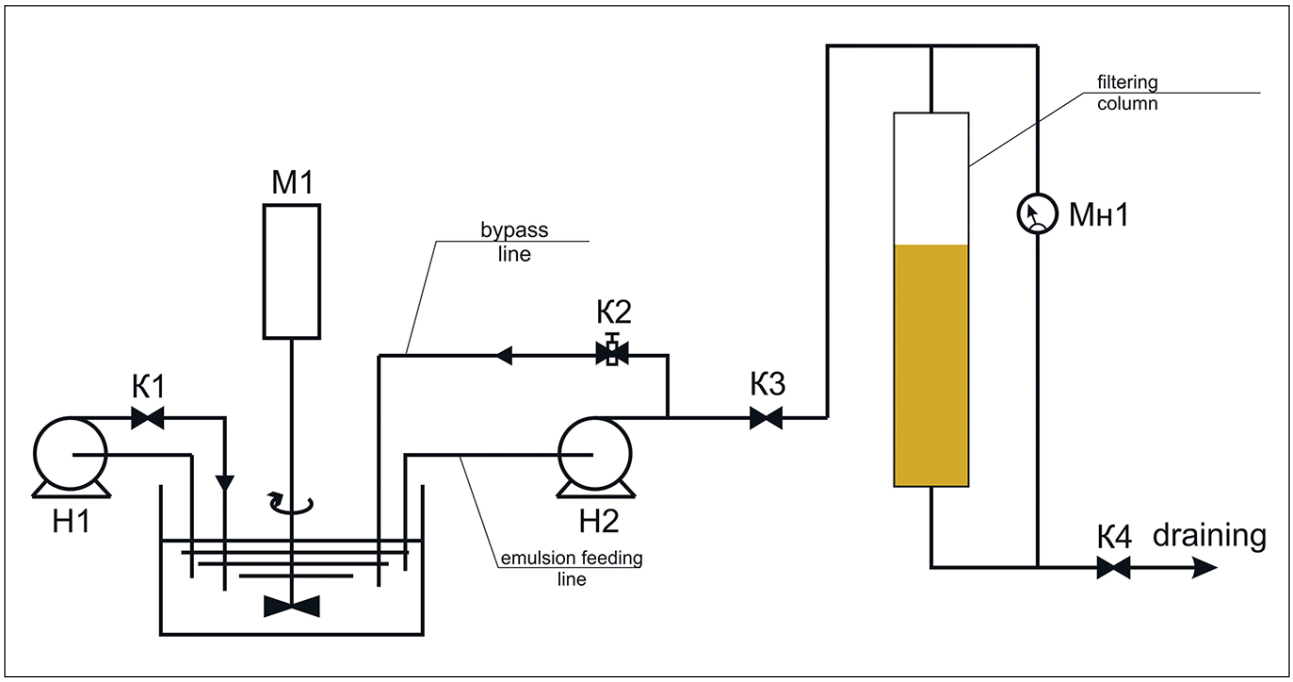


Fig. 1. **Hydraulic layout of the test rig for oil-in-water emulsions separation parameters study:**
H1 – emulsifier, M1 – paddle mixer for emulsion homogenization in the volume,
H2 – gear pump for emulsion feeding to the filter, K1, K3, K4 – ball valves, K2 – bypass line valve

also performed. For the test the analogous granules of the filtering material with equivalent diameter 0.7–1.7 mm obtained with "OreFilter" technology at manufacturing facility of OOO "LightOre" were used. Filter bed height made 1.5 m at inner diameter of the filter 200 mm. After completion of the filtering cycle (at pressure difference over 1.2 bar) the material cleaning by water backwashing in fluidization mode was made during which the filtering bed expanded by 0.8 m.

During the work a set of various instrumental physical-chemical research techniques was used.

Definition of elementary composition was made by the method of X-ray fluorescence spectrometry (XRF) on "Axios" sequential spectrometer of the company PANalytical (Netherlands). The analysis was done using the method 439-RS (Scientific Council for Analytical Procedures, All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources 2000), providing the results quality of III accuracy degree of quantitative analysis acc. to OST RF 41-08-205-99 (analysis of mineral substance).

The diagnostics of phase composition was done by the method of X-ray difffraction comparing the experimental and reference spectrums of the database PDF-2 from the software pack Jade 6.5, of the company MDI. The quantitative analysis was performed by the method of full-profile treatment of X-ray patterns of unoriented specimen by Rietveld in BGMN software program (www.bgmn.de). The XRD analysis was done using ULTIMA-IV X-ray diffractometer by the company Rigaku (Japan). Operation mode: 40 kW – 40 mA, copper radiation, nickel filter, measuring range: 3–65° 2θ, scanning angle pitch 0.02° 2θ, fixed system of focusing gaps. For shooting acceleration and quality increase of experimental data a new gen solid state detector DTex/Ultra was used: scanning speed – 10° 2θ/minute.

The figures of materials specimen microstructure were obtained using the scanning electronic microscope MIRA3 by the company TESCAN (Czech Republic).

The analysis of specific surface and porous structure parameters was performed by BET method using NOVAtouch 2LX-1 analyzer by the company Quantochrome Instruments (U.S.).

Petrol products concentration in water was measured by fluorimetric method (Fluorat 02-5M).

RESULTS

To provide the quality consistency of material produced and to explain its physical-chemical properties the studies on definition of elementary, – and phase composition, of specific surface, porosity as well as surface morphology were performed.

The chemical composition of the material is presented in table 1, the mineral composition is given in table 2.

Results of XRD analysis are provided on Fig. 2.

The above results evidence that the main part of the material is represented by the nano-structured amorphous silica (Fig. 2, table 2). As main element the granules are

Table 1
Chemical composition of granules

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	P_2O_5	SrO	BaO
Content, %-mass	0.09	1.09	9.26	82.61	1.24	1.37	0.43	0.01	3.45	0.40	0.01	0.04

Table 2
Mineral composition of granules

Component	Content, %-mass
Quartz	10.2
Illite	17.8
Opal-MH	58.0
Magnesium carbonate	0.3
Clinoptilolite	11.7
Feldspars	2.0

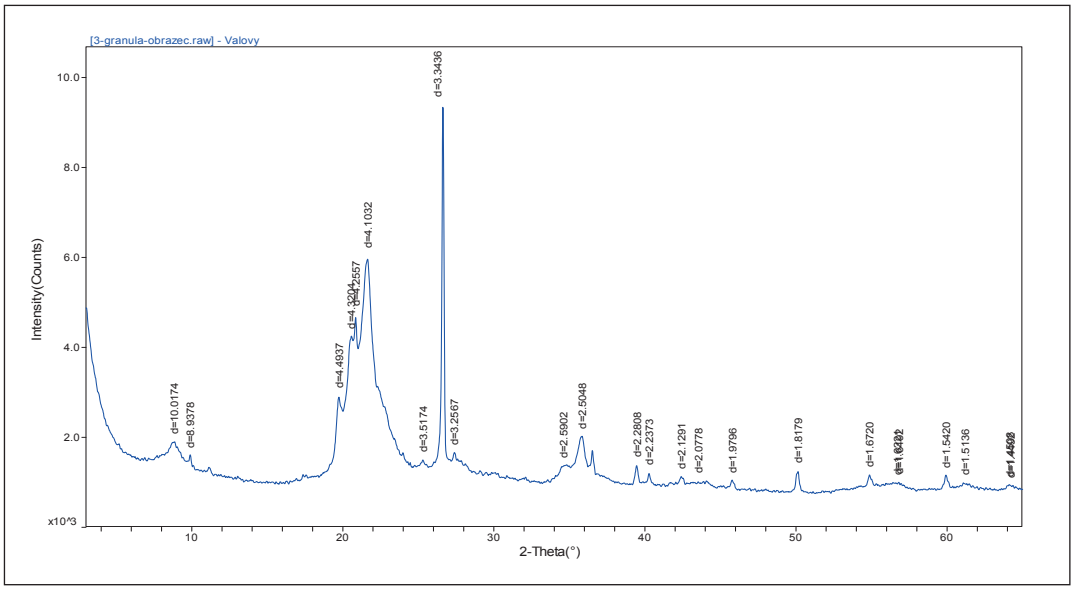


Fig. 2. **X-ray pattern of the filtering material after firing stage**

composed of acts silica. Aluminum, alkali metals and alkali-earth metals mainly form a part of fissile hydrosilicates (table 1).

The characteristics of the porous structure are given in table 3, while figure 3 shows pore size distribution and the cumulative pore volume of granulated material.

The results of materials comparative study by the method of scanning electronic microscopy show that the thin porous structure to be observed in the ground substrate for granules manufacturing (Fig. 4) remains in the end product even after processing (Fig. 5). This microstructure is formed by amorphous silica globules themselves having their own porosity as well as by interglobular space. Amorphous silica globules size is in the range of 3 to 5 μm. The presence of fissile hydrosilicates in composition of the material (illite, clinoptilolite) provides merging of separate silicon earth globules into a unified structure during the firing

Figure 5B shows the residues of fissile hydrosilicates as flakes in interglobular space.

The effectiveness of separating and accumulating features of the filtering material was studied during a series of laboratory and industrial tests. The parameters comparison of water phase cleaned of petrol products is given

Table 3
Characteristics of the porous structure

Specific area of pores surface, m^2/g	Volume of pores with size less than 100 nm, cm^3/g	Pores average diameter, nm
103.6	0.238	6.5

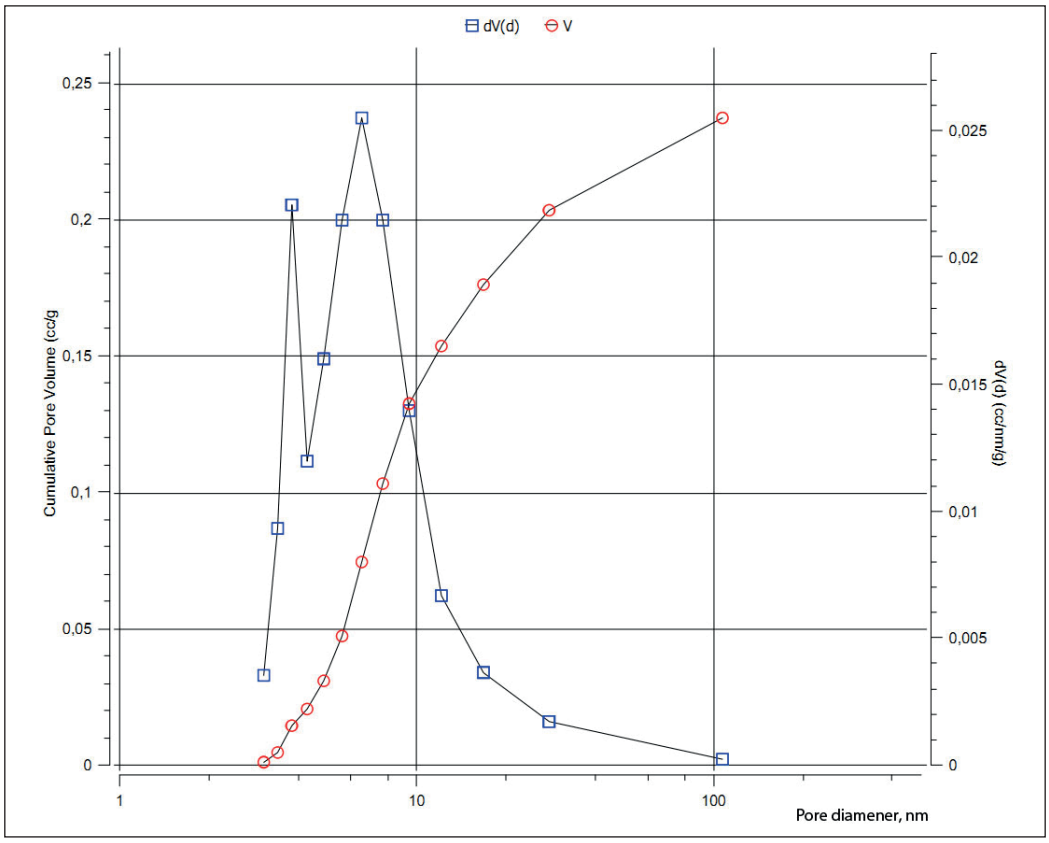


Fig. 3. **Pore size distribution and cumulative pore volume of granulated material**

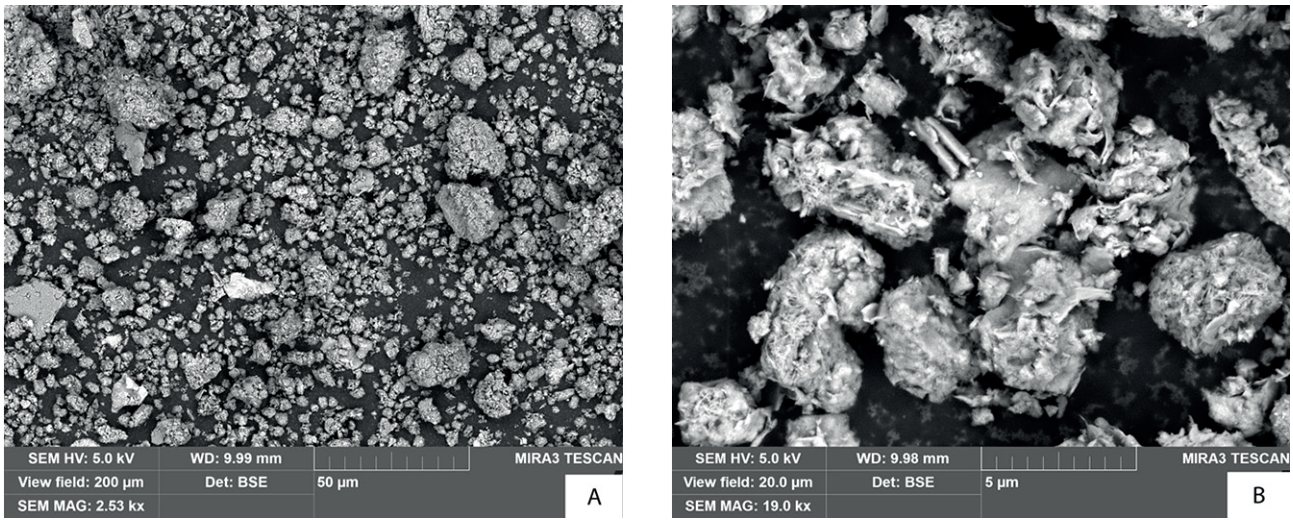


Fig. 4. **Microstructure of the ground silicate substrate at various magnifications:** A – x2530, B – x19 000

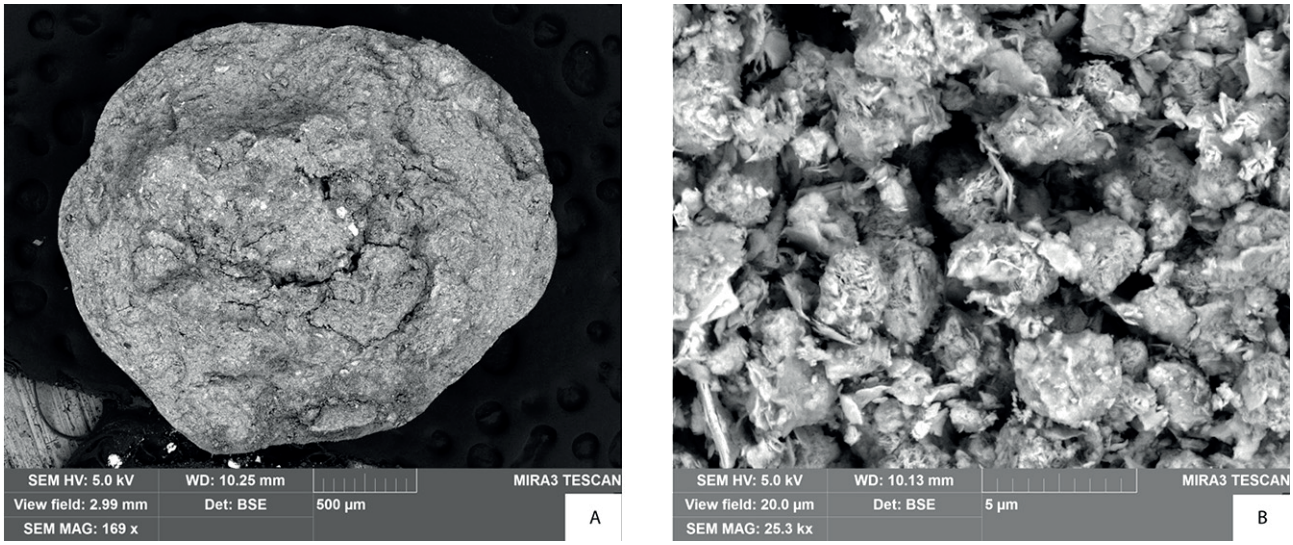


Fig. 5. **Granules microstructure at various magnifications:** A – x169, B – x25 300

in table 4. The data presented allow to reveal the fact that "OreFilter" technology applicability is rather broad: it is possible to perform the separation at a small bed thickness and filtering column diameter (20x200 mm) as well as at industrial scale (diameter 3200 mm, bed thickness 2500 mm).

Parameters and results of the filtering are given in table 4.

At the end of the filtering cycle the material backwashing in fluidization mode was performed, during which more than 99% of the petrol products accumulated in filter were removed. At the filtering speed of 20 m/h and filter bed thickness of 2500 mm the pressure drop in filter at filtering start did not exceed 0,1 bar, whereas after major part of intergranular space was filled with petrol and just before backwashing start the pressure drop raised up to 1,2 bar.

The subsequent filtering cycles enable the obtaining of identical results in terms of quality of water cleaning from petrol as well as in terms of thoroughness of petrol products removal from the filtering bed by means of backwashing.

The capacity of the filtering material for crude oil depends on oil viscosity and accordingly on oil density but also on fractional distribution of the filtering material, filtration speed and the temperature. For instance, for the filtering material of 0.7–1.7 mm grade at the temperature 80°C and filtering speed of 20 m/h the material capacity on crude oil made 120 l/m^3.

INTERPRETATION

The presence of nanodimentional open pores in the material possessing the prominent hydrophilic properties leads to the fact that when contacting with water, the entire pore space is filled with water along with simultaneous air displacement.

This process continues during an hour at the room temperature.

Any further interactions between the material and fluids with non-polar or low-polarity which are insoluble in water (and indecomposable by water) is hard to be performed. The macroscopic effect results in inadhesion of non-polar and low-polarity fluids to the granulated

Table 4
Laboratory and pilot testing results

	Petrol density, kg/m^3	Filtering bed height, mm	Filtering speed, m/h	t, °C	Petrol products concentration initial, mg/l	Petrol products concentration final, mg/l
Lab testing	984	200	20	60	280	6.6
			15			4.1
Pilot testing		2500	20	80	181	3.4
			12	65	320	0.9

filtering material over extended time intervals measured with decades. The availability of at least small amount of water phase in intergranular space is critical for maintaining the oleophobic properties.

It appeared to be possible to use such an effect at emulsions separation of different kind, specifically water-oil emulsions. The separation of two fluid immiscible phases during the filtering process occurs due to the combination of several by-effects. At the primary stage of the filtering the incoming fine emulsion drops are statically blocked in the intergranular space at stagnant places where the flow rate is lagged (Fig. 6b). Further on, the coalescence of several drops held together takes place. At the beginning, this feature is accompanied by petrol drops size increase and then by filling the intergranular space by oil phase (Fig. 6c). When a specific amount of the oil and petrol products entrapped by filter is reached, the filter effectiveness is growing. It is associated with the formation of the prolonged structure created by the oil and petrol products entrapped, which was called by the authors a "fluid net" (Fig. 6d). Due to the non-wettability of the filtering material by oil and petrol products, between granules and the "fluid net" the channels are remaining the size of which is comparable with the size of incoming emulsion drops and this is then the reason for water purification quality increase. During the filtering process the accumulation of oil and petrol products in the filter leads to the extension of the "fluid net". The filtering process ends when the limit of the petrol products entrapped reaches the filter output and the "breakthrough" there of begins.

The presence of mechanical impurities in the actual samples of water-oil emulsions (e.g. produced water) enhances the coalescence effect and fluid phases separation.

CONCLUSION

Following the results of the comprehensive research it can be said that the nano-porous granules of the obtained filtering material possess super hydrophilic features and due to the water shell created around them provide the following:

- granules protection from contamination with oil and petrol products contained in water to be treated;
- effective and not decreasing with time filter regeneration by means of backwashing in fluidization mode;

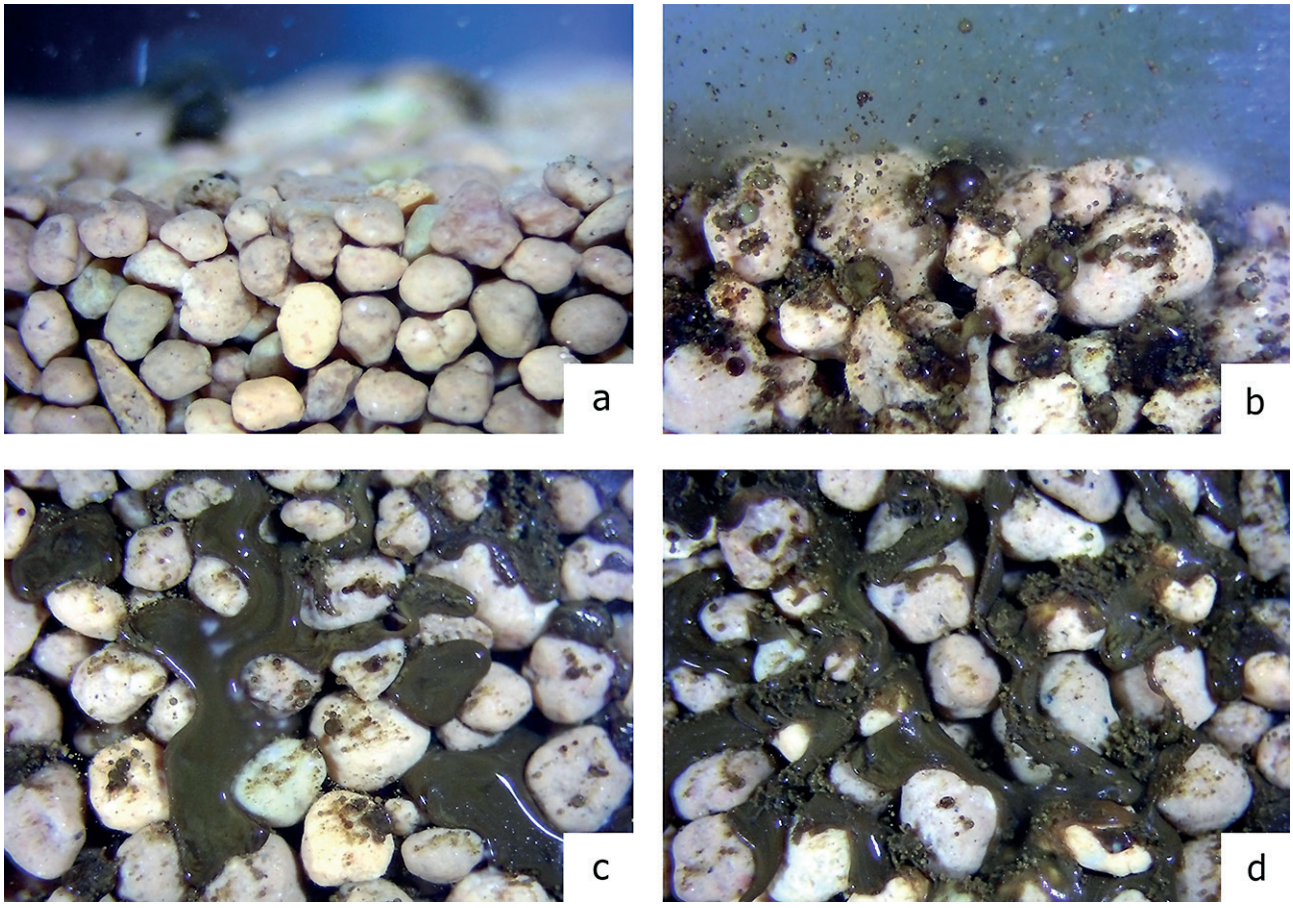


Fig. 6. **The process of petrol accumulation in granulated filtering bed and formation of «fluid net» in intergranular space**

- quality of water purification from oil and petrol products at the level of the most expensive purification methods.

Water purification quality increase is linked by the authors to the creation of a "fluid net" in the gaps between the granules, which threads (bundles) located between the granules reduce the channels size and divide channels to finer ones followed by increase of entrapping (jamming) effectiveness of finer drops of oil and petrol products. Besides, the reduction of the channels cross-section between granules and "fluid net" threads leads to the increase of the fluid movement speed, which enhances the coalescence. Theoretical predictions with model materials (granules of spherical shape and of equal size) show that the cross-section of channels between granules and "fluid net" threads (after formation of the stable "fluid net") is reduced by 6,8 times.

PROSPECTIVE FIELDS OF APPLICATION

The filtering material in the form of granules obtained at LLC "Voronezhpenosteklo" is used in the emulsions separation method developed and patented in Russia [20, 21] and in the equipment designed for implementation of this method [22, 23]. The decision on granting the European patent for the method of emulsions separation [24] was made by the European patent agency. Patent applications for the method of emulsions separation are being pended in other countries.

At present, the "OreFilter" technology becomes widely used in water treatment and water purification which, first of all, concerns the constant volume increase of petrol products usage as well as of vegetable and animal fats which have a very unfavorable property – a high adhesion to the filtering materials surface. Gripping on the surface of filtering materials, the petrol products and fats intermix with mechanical impurities and form an impermeable tight layer, practically a road concrete mix. To wash clean the filter from such impurities without affecting the filtering material is almost impossible.

"OreFilter" technology has passed the experimental-industrial assessment at more than fifty plants of different industries (mainly at those connected with oil production and oil refining) in several countries:

- Russia (PAO "Tatneft", PAO "Gazprom", PAO "Lukoil", OOO "RITEK", "NK "Rosneft" and others);
- Kazakhstan (AO "NK "KazMunayGaz", "Aktobe Oil");
- Germany ("Confidential", "Becker", "Kummetat");
- France ("Confidential", "Nantes Seaport");
- Italy ("ENI Genua", "Petrolteknica", AOC);
- Sweden ("Ragnsells", "Fortum").

The technology is now being tested at industrial sites of Near East, Canada, USA, Brazil and Australia.

The industrial filtering rigs using "OreFilter" technology have been already utilized at Russian enterprises of PAO "Tatneft" and also have been used in Sweden and Germany.

In oil producing branch the "OreFilter" technology enables an effective petrol products removal (down to 1–5 mg/l) from produced water containing up to 300 mg/l of petrol products and coarse dispersion. Filter regeneration is performed with normal water and allows collecting the petrol products entrapped. At cleaning of 13 400 m^3 of produced water per day with petrol products concentrations from 40 mg/l the "OreFilter" material filled into the pressure sand filters of 3.2 m diameter, in 4 years' time of utilization (without changing the filtering material) makes it possible to:

- clean 19 564 thousand m^3 of produced water;
- entrap 782.5 MT of petrol;
- return back into production over 670 MT of petrol as a product.

"OreFilter" technology, based on standard pressure sand filters, reduces the cost of produced water purification from 30–70 RUR (in case of usage the technologies based on non-regenerable sorption filtering elements, ceramic membranes, ultrafiltration membranes etc.) down to 2,6 RUR for 1 m^3 of water net of equipment depreciation during 10 years.

In EU countries (Sweden, Germany, Italy) the "OreFilter" technology is demanded at the objects of wastewater treatment and oil contaminated water treatment with a high content of suspended solids, dissolved organic compositions, heavy metals and other chemical compositions that require application of combined physical-chemical methods of water cleaning.

The application results of "OreFilter" technology have shown, that the purification cost of highly polluted waste water is reduced from 50–80 Euro (at implementation of chemical and electrocoagulation, ceramic membranes, ultrafiltration membranes with replacement rate of filtering elements at least once in 2–3 months) down to 4–9 Euro for 1 m^3 of water subject to equipment depreciation (10 years) and application of chemical water cleaning methods (from diluted organic elements and heavy metals).

At pulp and paper mills (PPM) in Sweden and Germany the "OreFilter" technology provided an efficient petrol products and conifer trees oils entrapping at waste water treatment and significantly improved the operation of biological cleaning systems (PPMs are mostly rigged with biological cleaning systems of waste water prior to release to the municipal sewage or natural water sources). Similar requests have been already coming from Russian PPMs.

The "OreFilter" technology had passed the testing at metal industry plants where the origin of petrol products in water are processing leakages of lubricants

and hydraulic oils as well as of special protecting grease compounds for metals swaging and protection of surface from oxidization. Test results demonstrated a high grade of polluted water purification from petrol products, mechanical dispersions and specific pollutions of metal processing industry – slag (high density metal particles).

The experimental-industrial tests proved the efficiency of the developed technology application in:

- food industry (sugar and alcohol manufacturing plants (condensate purification from organic fats);
- detergents and soap manufacturing plants (condensate purification from vegetable fats);
- mining and processing works (waste water purification from petrol products residues of synthetic and organic origin);
- purification of ballast and bilge water at ports; at purification of polluted water after oil tankers washing.
- aquaculture, e.g. in fish farming, in particular in trout breeding (дclosed loop water purification prior to systems of water biological purification from fats, the source of which are saturated foodstuffs with increased concentration of vegetable and animal fats);
- in seaquariums and dolphinariums (Moscow Seaquarium at National Economy Achievement Exhibition is Aspro Ocio international contest winner for the third year in a row in the nomination "Most transparent water among dolphinariums of Russia, EU and Near East" as the "OreFilter" technology used in seaquarium for the removal of fats and mechanical/organic suspensions from water makes it possible to reach water transparency up to 13 meters).

REFERENCES

1. Ospanova Zh.H., Khanturin M.R. Phytoremediation of oil polluted waste water. *Orenburg State University Bulletin*. 2010;12(118):74–77.

2. Kuznetsova V.M., Ovsyankina A.V. Modern look at waste water purification methods at oil processing plants and enterprises. *Young scientist*. 2017;32(166):4–9.

3. Veprikova E.V., Tereshchenko E.A., Chesnokov N V., Shchipko M.L., Kuznetsov B.N. Specifics of water purification from petrol products using oil sorbents, filtering materials and active carbons. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2010;3:285–304.

4. Chernenko T.V., Imatullina G.K., Rezuanov D.A., Kireyeva A.T., Khalitov A.K. Methods of waste water purification from petrol products. In: *Problems and outlooks of modern science: Proceedings of the Fourth International Teleconference «Basic sciences and practice»*. Tomsk. 2011. Vol. 3, № 1. Available from: http://masters.donntu.org/2012/feht/shirokorodova/library/article9.htm (access date: 16.03.2021).

5. Kuligin S.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Granule of the filtering material for demulsification*. Russian Federation Patent 2652695. 2018-04-28.

6. Kosyakov A.V., Ishkov A.D., Kuligin S.V. et al. *Granule of the filtering material for separation of emulsions*. Russian Federation Patent 2661228. 2018-07-13.

7. Demin M.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Granule of the filtering material for separation of emulsions*. Russian Federation Patent 2661233. 2018-07-13.

8. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Method for producing granular filter material*. Russian Federation Patent 2630554. 2017-09-11.

9. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Rovovoj V.V. et al. *Granular filter material*. Russian Federation Patent 2628391. 2017-08-16.

10. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Granulated filtering material*. Russian Federation Patent 170334. 2017-04-21.

11. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Unit for manufacturing of granulated filtering material from diatomite*. Russian Federation Patent 168903. 2017-02-27.

12. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Filter material*. Russian Federation Patent 2641742. 2018-01-22.

13. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Filter and/or sorption material*. Russian Federation Patent 173572. 2017-08-31.

14. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Granulated filtering and/or sorbing material*. Russian Federation Patent 2640548. 2018-01-09.

15. Kosyakov A.V., Blagov A.V., Kuligin S.V. et al. *Granulated filtering and/or sorbing material*. Russian Federation Patent 176291. 2018-01-16.

16. Kuligin S.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Granule of the filtering material for demulsification*. Russian Federation Patent 179222. 2018-05-04.
17. Kosyakov A.V., Ishkov A.D., Kuligin S.V. et al. *Granule of the filtering material for demulsification*. Russian Federation Patent 176145. 2018-01-09.
18. Demin M.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Granule of the filtering material for emulsions separation*. Russian Federation Patent 176482. 2018-01-22.
19. Kim P., Wong T.-S., Alvarenga J. et al. Liquid-infused nanostructured surfaces with extreme anti-ice and anti-frost performance. *ACS nano*. 2012;6(8):6569–6577.
20. Belov P.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Method of emulsions separation*. Russian Federation Patent 2664936. 2018-08-23.
21. Kosyakov A.V., Belov P.V., Ishkov A.D., Lapenko A.A. Technology of water purification from petrol and oil and petrol products using "aqueous" filter on mineral porous carrier. *Equipment and technologies for oil and gas industry*. 2021;1(121):32-37.
22. Kirin M.P., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Device for separation of emulsions*. Russian Federation Patent 2652255. 2018-04-25.
23. Kirin M.P., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Device for separation of emulsions*. Russian Federation Patent 178810. 2018-04-19.
24. Belov P.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Method of emulsion separation*. European Patent 3513853. 2019-07-24.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey V. Kuligin, deputy director of the Limited liability company "Voronezhpenosteklo"; Voronezh, Russia, e-mail: ksv.road@gmail.com

Aleksandr V. Kosyakov, Cand. Sci. (Eng.), chief engineer of the Limited liability company "Voronezhpenosteklo"; Voronezh, Russia, e-mail: alexkos33@yandex.ru

Petr V. Belov, director of Limited liability company "LightOre"; Voronezh, Russia, e-mail: peter.belov@lightore.com

Aleksandr A. Lapenko, Cand. Sci. (Chem.), chief industrial engineer of the Limited liability company "Voronezhpenosteklo"; Voronezh, Russia, e-mail: lapenkoaa@gmail.com

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

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 02.03.2021.
Revised: 31.03.2021.
Accepted: 02.04.2021.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-63-72
УДК 628.543.15:665.7
Тип статьи: Оригинальная статья

Очистка воды от маслонефтепродуктов с помощью нанопористых супергидрофильных материалов

С.В. Кулигин[1], А.В. Косяков[1], П.В. Белов[2], А.А. Лапенко[1], А.Д. Ишков[3]*

[1] Общество с ограниченной ответственностью «Воронежпеностекло», г. Воронеж, Россия
[2] Общество с ограниченной ответственностью «Лайтор», г. Воронеж, Россия
[3] Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

***Контакты:** e-mail: aishkov@gmail.com

РЕЗЮМЕ: Введение. В статье представлены результаты исследования физико-химических свойств нового фильтрующего материала, оценки его гидрофильных и олеофобных свойств, а также эффективности разделения прямых эмульсий в лабораторных и промышленных условиях. **Методы и материалы.** В качестве основы для создания нового фильтрующего материала была выбрана природная смесь минералов со значительным преобладанием кремнезема, также включающая в себя небольшие количества слоистых гидросиликатов (слюды, глина), которые обеспечивают прочность конечного гранулированного продукта при сохранении пористости и гидрофильных свойств поверхности. В исследованиях использовались гранулы сферической формы различного фракционного состава, полученные в результате сушки, гранулирования и обжига. Перед фильтрацией гранулы пропитываются водой с целью образования вокруг каждой гранулы водяной оболочки, которая обеспечивает защиту гранул от загрязнения маслонефтепродуктами и легкую очистку фильтра путем обратной промывки в режиме псевдоожижения. Для лабораторного исследования параметров разделения водонефтяных эмульсий был сконструирован тестовый стенд. В работе применялся комплекс различных инструментальных физико-химических методов исследования. **Результаты.** Приведены химический и минеральный составы разработанного фильтрующего материала, результаты его рентгено-структурного анализа, микрофотографии измельченного субстрата, полученные с помощью растрового электронного микроскопа, а также характеристики пористой структуры (распределение пор по размеру и совокупный объем пор материала гранул), определенные методом низкотемпературной адсорбции азота. Представлены результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний разделительной и накопительной способности фильтрующего материала. **Обсуждение.** Полученные данные обосновывают тот факт, что разработанный материал обладает ярко выраженными гидрофильными свойствами, а после создания водяной оболочки – олеофобными. При исследовании разделения двух жидких несмешивающихся фаз в процессе фильтрации через полученные гранулы было обнаружено значительное возрастание эффективности фильтра после достижения определенного количества удержанных фильтром маслонефтепродуктов. Возрастание эффективности фильтра связано с образованием протяженной структуры, которую авторы назвали «жидкостной сетью», образованной уловленными маслонефтепродуктами. Нити «жидкостной сети», образующиеся в зазорах между гранулами, уменьшают размеры каналов, что увеличивает эффективность улавливания более мелких капель маслонефтепродуктов. **Выводы.** Полученные нанопористые гранулы фильтрующего материала обладают супергидрофильностью и, за счет создаваемой вокруг них водяной оболочки, обеспечивают: защиту гранул от загрязнения содержащимися в очищаемой воде маслонефтепродуктами; эффективную (и не снижающуюся со временем) регенерацию фильтра путем обратной промывки в режиме псевдоожижения; качество очистки воды от маслонефтепродуктов на уровне самых дорогостоящих методов очистки. **Перспективы внедрения.** Разработанная технология «ОреФильтр» прошла опытно-промышленную апробацию на более полусотни производственных объектов различных отраслей промышленности (в основном, связанных с нефтедобычей и переработкой нефти) в России и зарубежных странах. Осуществляется тестирование технологии на промышленных объектах Ближнего Востока, Канады, США, Бразилии и Австралии. Промышленные фильтрационные установки, использующие технологию «ОреФильтр», уже эксплуатируются на российских предприятиях, работают в Швеции и Германии. Опытно-промышленные исследования доказали эффективность применения разработанной технологии: в пищевой промышленности; на заводах по производству моющих средств и мыла; на горно-обогатительных комбинатах; при очистке портовых балластных и льяльных вод, загрязненной воды после мойки нефтеналивных танкеров; в рыбоводстве; в морских океанариумах и дельфинариях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка воды, фильтрование, разделение эмульсий, фильтрующие материалы, нефть, нефтепродукты, маслонефтепродукты, открытопористые гранулы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кулигин С. В., Косяков А.В., Белов П.В., Лапенко А.А., Ишков А.Д. Очистка воды от маслонефтепродуктов с помощью нанопористых супергидрофильных материалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 63–72. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-63-72.

© Кулигин С. В., Косяков А.В., Белов П.В., Лапенко А.А., Ишков А.Д., 2021

ВВЕДЕНИЕ

Нефтепродукты являются наиболее распространенными загрязнителями сточных вод, а группа углеводородов нефти, мазута, керосина, масел и их примесей вследствие своей высокой токсичности входят, согласно данным ЮНЕСКО, в десятку самых опасных загрязнителей окружающей природной среды [1]. Поэтому очистка воды от маслонефтепродуктов относится к числу крайне актуальных и общественно значимых экологических проблем, которые, однако, решаются недостаточно эффективно, поскольку создание современных очистных комплексов требует внедрения новых технологий и, следовательно, серьезных финансовых затрат.

В настоящее время на практике реализуются следующие методы очистки воды от маслонефтепродуктов [2]:

- механические методы (процеживание, центробежное отделение, отстаивание, фильтрование);
- физико-химические методы (флотация, сорбция, экстракция, коагуляция, флокуляция);
- химические методы (ионный обмен, нейтрализация, окисление);
- биологические методы (природные или искусственные условия).

Достаточно широко распространена схема очистки воды от нефтепродуктов, включающая следующие стадии [3]:

- ***отстаивание*** – для удаления крупнодисперсных, свободных маслонефтепродуктов с последующей флотацией для удаления мелкодисперсных и связанных нефтепродуктов; эта стадия позволяет снизить количество нефтепродуктов в воде до 20 мг/л;
- ***фильтрование*** – для удаления мелкодисперсных, особенно эмульгированных, нефтепродуктов; эта стадия снижает их количество в воде до 10 мг/л;
- ***сорбционная доочистка*** – доводит количество нефтепродуктов в воде до 0,5–1,0 мг/л.

Чем более высокую степень очистки воды обеспечивает метод, тем, соответственно, дороже он обходится. Механическая очистка воды от нефтепродуктов с помощью отстаивания, процеживания и фильтрования является наиболее экономичным методом очистки воды [4]. При этом, если фильтрование через различные сетки и ткани используется для удаления грубодисперсных частиц, то фильтры, содержащие в качестве загрузки материал, улавливающий нефтепродукты (кварцевый песок, керамзит, пенополистирол, пенополиуретан, антрацит, шлак, пористые зернистые материалы, волокнистые материалы и пр.), позволяют очистить нефтесодержащую воду в более высокой степени. Таким образом, разработав качественную фильтрующую загрузку, можно добиться более высокого качества очистки воды от нефтепродуктов, достижимое лишь с помощью более дорогих (не механических) методов, сохранив основное преимущество механического метода – низкую стоимость процесса очистки.

ООО «Воронежпеностекло» был разработан инновационный материал – открытопористые гранулы для деэмульсации [5–18], поверхность которых не смачивается нефтепродуктами, поскольку вокруг гранул имеется водяная оболочка. Эта оболочка, образованная за счет предварительной пропитки гранул водой, обеспечивает их защиту от загрязнения маслонефтепродуктами и легкую очистку фильтра путем обратной промывки в режиме псевдоожижения.

Целью настоящей работы являлось исследование физико-химических свойств нового фильтрующего материала, оценки его гидрофильных и олеофобных свойств, а также эффективности разделения прямых эмульсий в лабораторных и промышленных условиях.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В основе функциональных свойств разработанного фильтрующего материала лежит принцип, впервые описанный в работах Kim P. и Wong T. [19] по созданию супергидрофобных SLIPS-покрытий, когда для получения поверхности с контактным углом смачивания более 120 градусов используется наноструктурированный пористый материал, пропитанный жидкостью, хорошо смачивающей твердую матрицу и нерастворимой во второй (внешней) жидкой фазе. Однако авторами использовался полимерный наноструктурированный материал (полипиррол), пропитанный фторорганическим агентом (Krytox 100) для получения супергидрофобной поверхности, несмачиваемой жидкой водой и имеющей низкую адгезию ко льду.

Для достижения целей настоящей работы необходимо было найти материал, из которого возможно сформировать твердую пористую матрицу, хорошо смачиваемую водой и обладающую достаточной механической прочностью. Подобным условиям удовлетворяет ряд силикатных материалов на основе аморфного кремнезема. В конечном итоге была выбрана природная смесь минералов со значительным преобладанием кремнезема (см. табл. 2), также включающая в себя небольшие количества слоистых гидросиликатов (слюды, глина), которые обеспечивают прочность конечного гранулированного продукта при сохранении пористости и гидрофильных свойств поверхности. В исследованиях использовались гранулы сферической формы различного фракционного состава, полученные в результате сушки, гранулирования и обжига.

Для лабораторного исследования параметров разделения водонефтяных эмульсий был сконструирован тестовый стенд, схема которого представлена на рис. 1.

Для практической реализации была выбрана конструкция классического напорного фильтра для гранулированной фильтрующей загрузки. Система представляет собой вертикальный цилиндрический фильтр с распределительной системой внизу и вверху и необходимой обвязкой из труб и запорной арматуры.

Используемый центробежный эмульгатор позволял получить нефтяную эмульсию с размером капель в диапазоне от 5 до 80 мкм с максимальным содержанием капель размером 20 мкм. Концентрация нефти (плотность 0,984 г/см^3) на входе в фильтр равнялась 1 г/л. Фильтр был наполнен гранулированной загрузкой фракции 0,7–1,7 мм, предварительно пропитанную водой. Толщина фильтровального слоя составляла 200 мм.

Для проверки описанной методики и механизма фильтрации были также проведены опытно-промышленные испытания по очистке подтоварной воды на объектах добычи тяжелой нефти (плотность 0,984 г/см^3). При проведении испытаний использовались аналогичные гранулы фильтрующего материала с эквивалентным диаметром 0,7–1,7 мм, полученные по технологии «ОреФильтр» на производственных мощностях ООО «Лайтор». Высота фильтровального слоя составляла 1,5 м при внутреннем диаметре фильтра 200 мм. По окончании цикла фильтрации (при увеличении перепада давления на фильтре более 1,2 бар) осуществлялась промывка материала обратным потоком воды в режиме псевдоожижения, во время которой фильтрующий слой расширялся на 0,8 м.

В работе применялся комплекс различных инструментальных физико-химических методов исследования.

Определение элементного состава материалов проводилось методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии (XRF) на спектрометре последовательного действия Axios компании PANalytical (Нидерланды). Анализ выполнен по методике 439-РС (НСАМ, ВИМС 2000г), обеспечивающей качество результатов III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99 (анализ минерального вещества).

Диагностику фазового состава проводили методом рентгенофазового анализа, сопоставляя экспериментальный и эталонный спектры из базы данных PDF-2 в программном пакете Jade 6.5, компании MDI. Количественный анализ осуществлялся методом полнопрофильной обработки рентгеновских картин от неориентированных препаратов по методу Ритвельда в программном продукте BGMN (www.bgmn.de). Рентгенодифракционный анализ проводили при помощи рентгеновского дифрактометра ULTIMA-IV фирмы Rigaku (Япония). Рабочий режим – 40 кВ – 40 mA, медное излучение, никелевый фильтр, диапазон измерений – 3–65° 2θ, шаг по углу сканирования 0,02° 2θ, фиксированная система фокусировочных щелей. Для ускорения съемки и повышения качества экспериментальных данных использовался полупроводниковый детектор нового

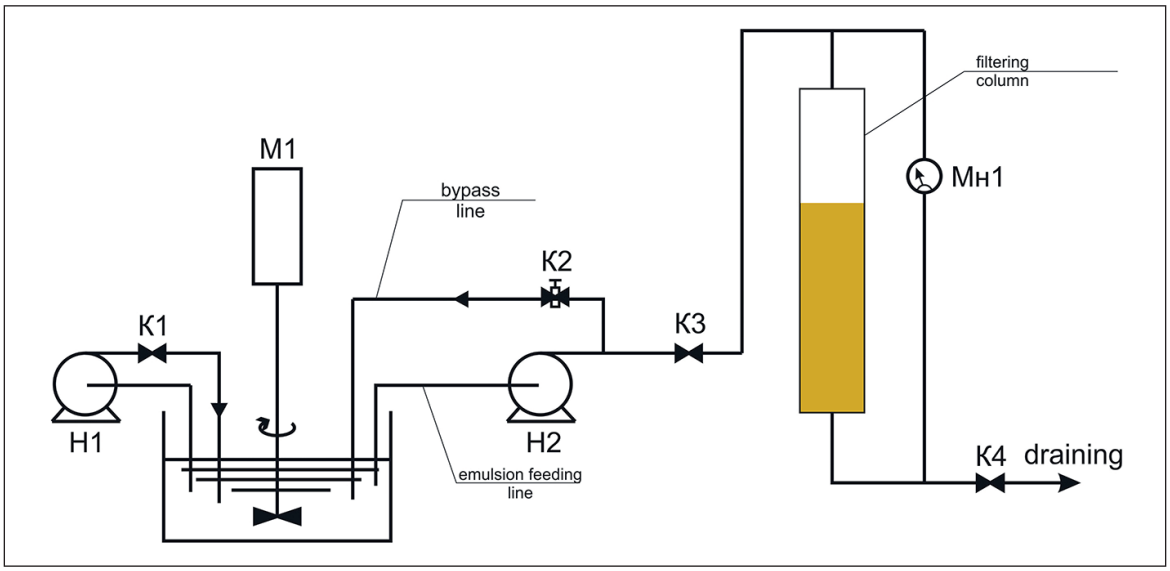


Рис.1. **Гидравлическая схема установки для изучения параметров разделения водонефтяной эмульсии:** Н1 – эмульгатор, М1 – лопастная мешалка для гомогенизации эмульсии в объеме, Н2 – шестеренчатый насос подачи эмульсии в фильтр, К1, К3, К4 – шаровые краны, К2 – вентильный кран байпассной линии

поколения – DTex/Ultra: скорость сканирования – 10° 2θ/минуту.

Фотографии микроструктуры образцов материалов были получены с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA3 фирмы TESCAN (Чехия).

Анализ удельной поверхности и параметров пористой структуры проводили по методу БЭТ с помощью анализатора NOVAtouch 2LX-1фирмы «Quantochrome Instruments» (США).

Концентрация нефтепродуктов в воде измерялась флуориметрическим методом (Флюорат 02-5М).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для обеспечения постоянства качества выпускаемого материала и объяснения его физико-химических свойств были проведены исследования по определению элементного, фазового состава, удельной поверхности, пористости, а также морфологии поверхности.

Химический состав материала представлен в табл. 1, минеральный состав приведен в табл. 2.

Результаты рентгено-структурного анализа представлены на рис. 2.

Таблица 1
Химический состав гранул

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	P_2O_5	SrO	BaO
Содержание, масс %	0,09	1,09	9,26	82,61	1,24	1,37	0,43	0,01	3,45	0,40	0,01	0,04

Таблица 2
Минеральный состав гранул

Компонент	Содержание, масс %
Кварц	10,2
Иллит	17,8
Опал-СТ	58,0
Магнезит	0,3
Клиноптилолит	11,7
Полевые шпаты	2,0

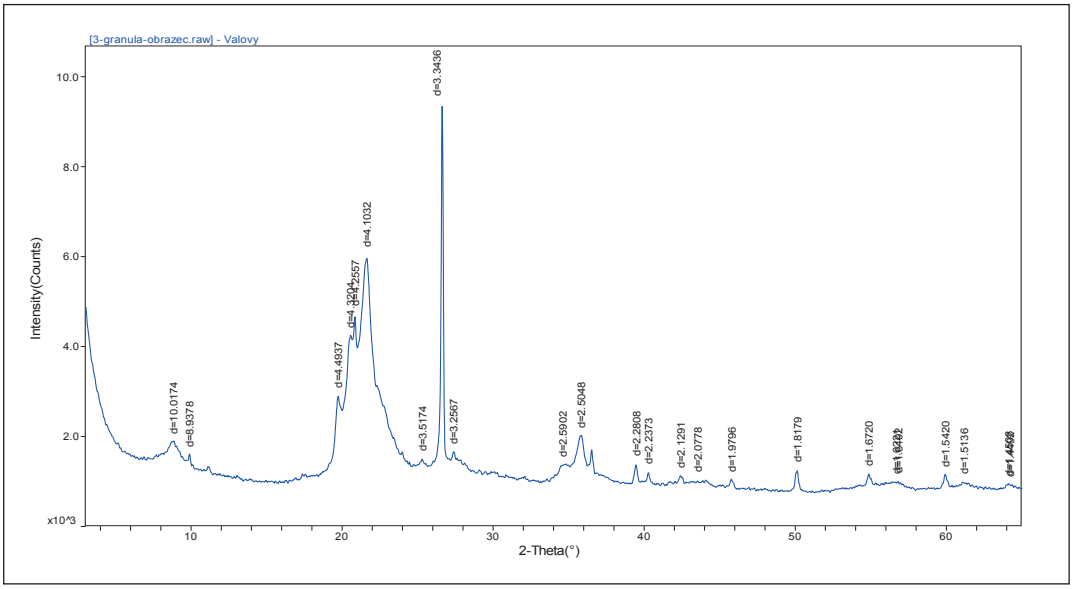


Рис. 2. **Рентгенограмма фильтрующего материала после стадии обжига**

Вышеприведенные результаты свидетельствуют о том, что основная часть материала представлена наноструктурированным аморфным кремнеземом (рис. 2, табл. 2). Основным элементом, входящим в состав гранул, является кремний. Алюминий, щелочные и щелочноземельные металлы находятся преимущественно в составе слоистых гидросиликатов (табл. 1).

Характеристики пористой структуры приведены в табл. 3, а на рис. 3 показано распределение пор по размеру и совокупный объем пор материала гранул.

Результаты сравнительного исследования микроструктуры материалов методом сканирующей электронной микроскопии показали, что тонкая пористая структура, наблюдаемая в измельченном субстрате для изготовления гранул (рис. 4) сохраняется после технологической обработки и в готовом материале (рис. 5). Эта микроструктура образована как самими глобулами кремнезема, имеющими собственную пористость, так и межглобулярным пространством. Размер глобул кремнезема находится в интервале от 3 до 5 мкм. Наличие же в составе материала слоистых гидросиликатов (иллит, клиноптилолит) обеспечивает в процессе обжига объединение отдельных глобул кремнезема в единую структуру. На рис. 5В остатки слоистых гидросиликатов видны в виде чешуек в межглобулярном пространстве.

Эффективность разделительной и накопительной способности фильтрующего материала была изучена при проведении ряда лабораторных и промышленных испытаний. Сравнение параметров очищенной водной фазы от нефтепродуктов приведены в табл. 4. Представленные данные позволяют увидеть, что масштабируемость технологии «ОреФильтр» лежит в большом диапазоне: возможно проводить разделение как при небольшой толщине слоя и диаметре фильтрующей колонны (20х200 мм), так и в промышленных условиях (диаметр – 3200 мм, толщина слоя – 2500 мм).

Таблица 3
Характеристики пористой структуры

Удельная площадь поверхности пор, $м^2/г$	Объем пор размером менее 100 нм, $см^3/г$	Средний диаметр пор, нм
103,6	0,238	6,5

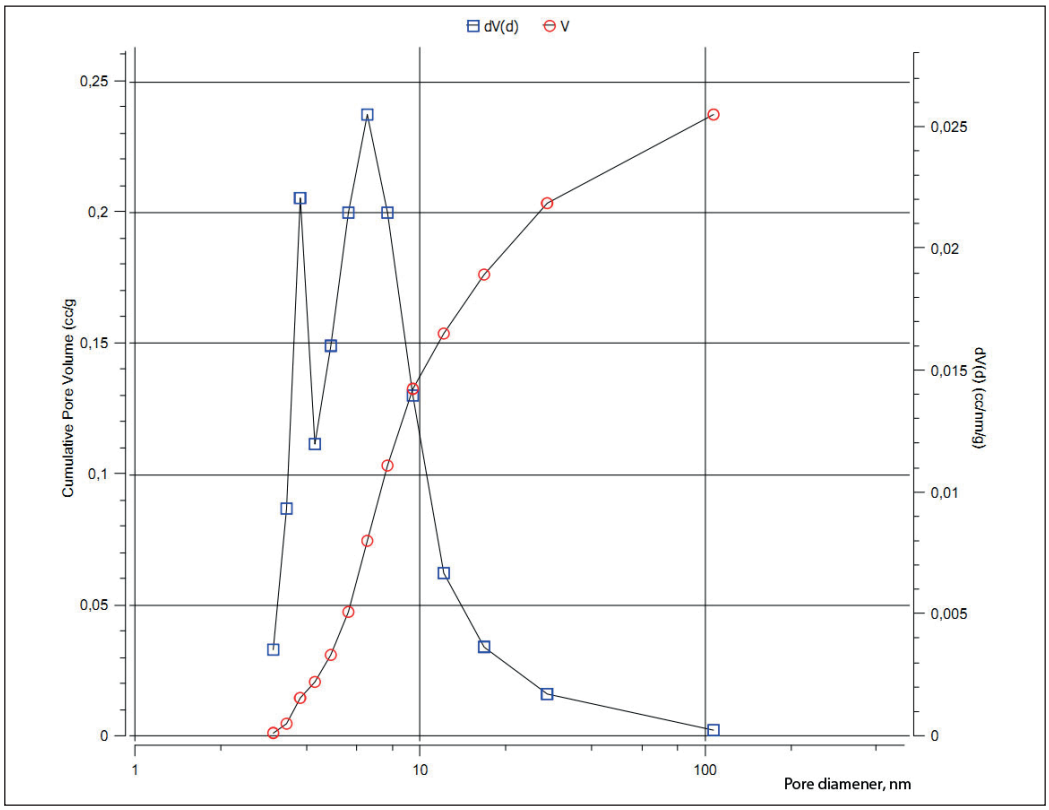


Рис. 3. **Распределение пор по размеру и совокупный объем пор материала гранул**

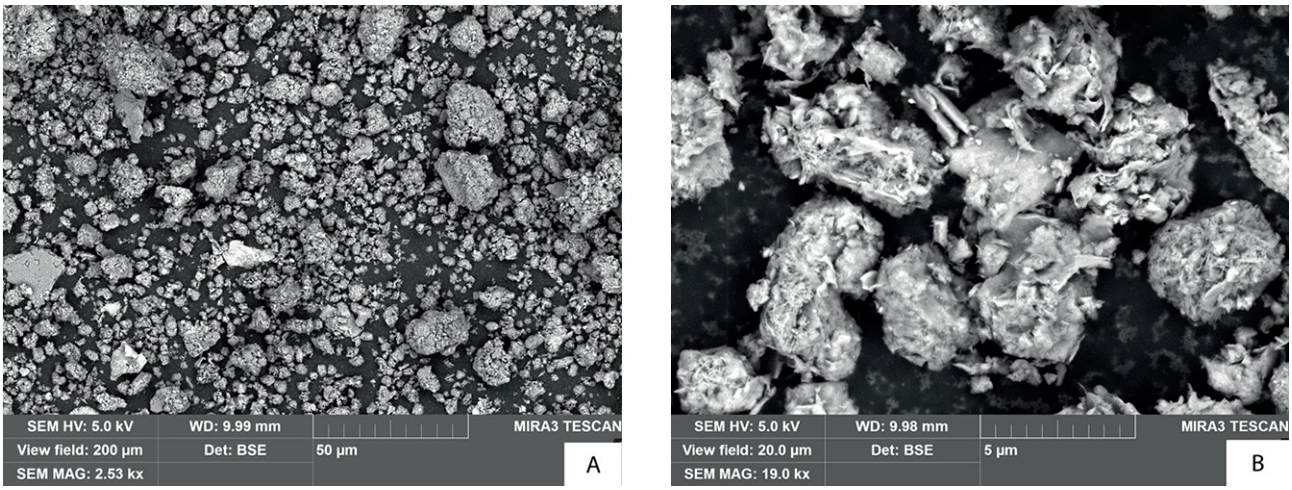


Рис. 4. **Микроструктура измельченного силикатного субстрата при различном увеличении:** А – x2530, В – x19 000

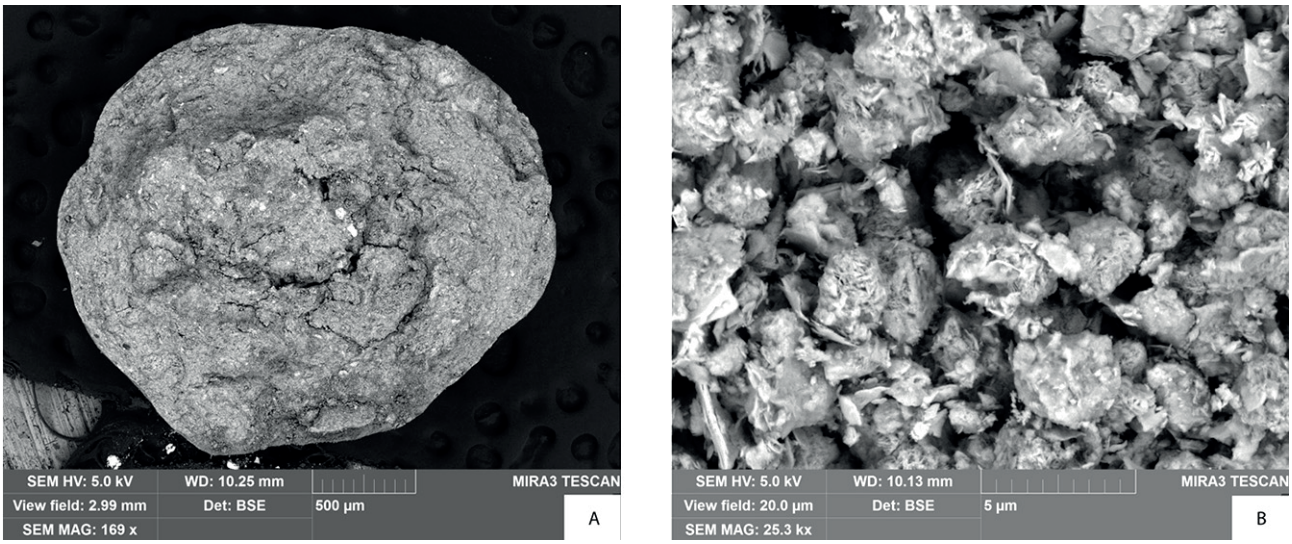


Рис. 5. **Микроструктура гранул при различном увеличении:** А – x169, В – x25 300

Таблица 4
Результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний

	Плотность нефти, кг/м^3	Высота фильтрующего слоя, мм	Скорость фильтрации, м/ч	t, °С	$С_{нп}$ исх, мг/л	$С_{нп}$ кон, мг/л
Лабораторные испытания	984	200	20	60	280	6,6
			15			4,1
Промышленные испытания		2500	20	80	181	3,4
				65	320	0,9

Параметры и результаты фильтрации приведены в табл. 4.

По окончании цикла фильтрации осуществлялась промывка материала обратным потоком воды в режиме псевдоожижения, в процессе которой удалялось более 99% накопленных в фильтре нефтепродуктов. При скорости фильтрации 20 м/ч падение давления на фильтре в начале фильтрации не превышало 0,1 бар при толщине слоя 2500 мм, а после заполнения большей части межгранульного

пространства нефтью и непосредственно перед началом обратной промывки падение давления увеличивалось до 1,2 бар.

Последующие циклы фильтрации позволяют получить идентичные результаты как в плане качества очистки воды от нефти, так и полноты удаления нефтепродуктов из фильтрующего слоя обратной промывкой.

Емкость фильтрующего материала по сырой нефти зависит от вязкости и, соответственно, плотности нефти, фракционного состава фильтрующего материала, скорости фильтрации и температуры. Так, для фракции 0,7–1,7 мм при температуре 80°С, скорости фильтрации 20 м/ч емкость материала по тяжелой нефти составила 120 л/м^3.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наличие открытых пор нанометрового размера в объеме материала, обладающего ярко выраженными гидрофильными свойствами, приводит к тому, что при контакте с водой все поровое пространство заполняется водой с одновременным вытеснением воздуха. Этот процесс продолжается в течение часа при комнатной температуре. В дальнейшем любое взаимодействие материала с неполярными и слабополярными нерастворимыми в воде (и не разлагающимися водой) жидкостями трудноосуществимо. Макроскопический эффект выражается в отсутствии адгезии неполярных и слабополярных жидкостей к гранулированному фильтрующему материалу на протяжении длительного времени, измеряющегося годами. Обязательным условием поддержания олеофобных свойств является наличие хотя бы небольшого количества водной фазы в межгранульном пространстве.

Подобный эффект оказалось возможным использовать при разделении различного рода эмульсий, в частности, водонефтяных эмульсий. Разделение двух жидких несмешивающихся фаз в процессе фильтрации происходит благодаря совокупности нескольких сопутствующих эффектов. На первоначальной стадии фильтрации поступающие мелкие капли эмульсии статистически задерживаются в межгранульном пространстве в застойных местах, где скорость потока замедлена (рис. 6b). В дальнейшем происходит коалесценция нескольких совместно удержанных капель. Вначале это сопровождается увеличением размера капель нефти, а затем заполнением межгранульного пространства нефтяной фазой (рис. 6c). При достижении определенного количества удержанных фильтром маслонефтепродуктов эффективность фильтра возрастает. Это связано с образованием протяженной структуры, которую авторы назвали «жидкостной сетью» (рис. 6d), образованной уловленными маслонефтепродуктами.

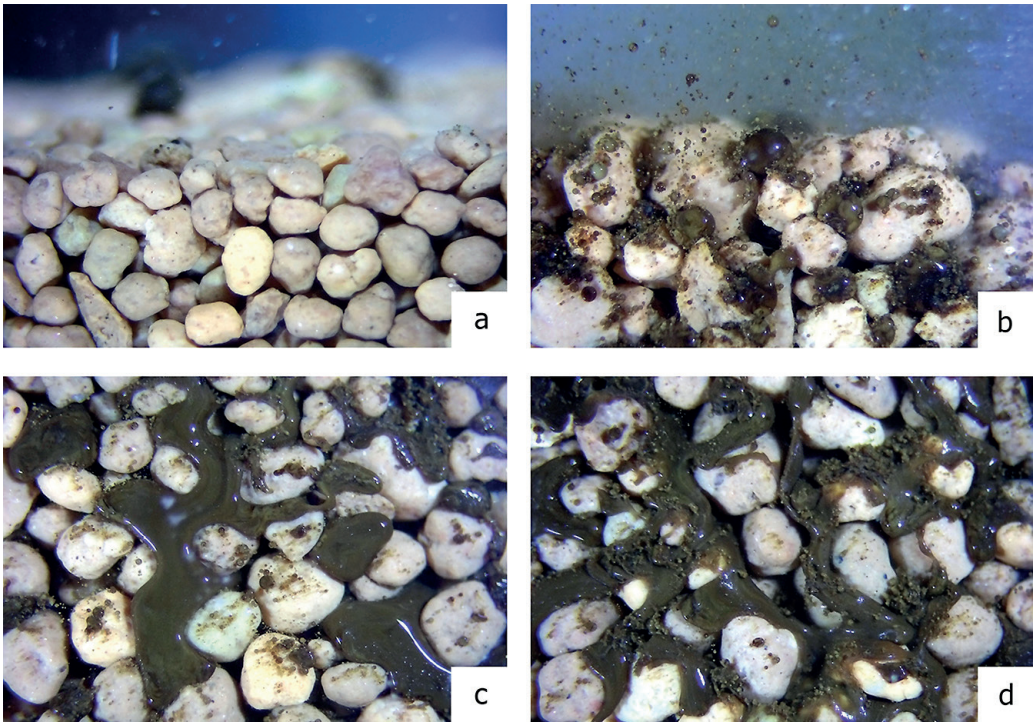


Рис. 6. **Процесс накопления нефти в слое гранулированной фильтрующей загрузки и образования «жидкостной сети» в межгранульном пространстве**

В силу несмачиваемости фильтрующего материала маслонефтепродуктами между гранулами и «жидкостной сетью» остаются каналы, размер которых сопоставим с размером капель входящей эмульсии, что и является причиной повышения качества очистки воды. В процессе фильтрации накопление маслонефтепродуктов в фильтре приводит к расширению «жидкостной сети». Процесс фильтрации заканчивается, когда граница удержанных нефтепродуктов достигает выхода фильтра и начинается их «проскок».

Наличие в реальных образцах водонефтяных эмульсий (например, пластовой воды) механических примесей увеличивает эффект коалесценции и разделения жидких фаз.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных комплексных исследований можно констатировать, что полученные нанопористые гранулы фильтрующего материала обладают супергидрофильностью и за счет создаваемой вокруг них водяной оболочки обеспечивают:

- защиту гранул от загрязнения содержащимися в очищаемой воде маслонефтепродуктами;
- эффективную (и не снижающуюся со временем) регенерацию фильтра путем обратной промывки в режиме псевдоожижения;
- качество очистки воды от маслонефтепродуктов на уровне самых дорогостоящих методов очистки.

Повышение качества очистки воды авторы связывают с созданием в зазорах между гранулами «жидкостной сети», нити (жгуты) которой, расположенные между гранулами, уменьшают размеры каналов и делят каналы на более мелкие, что увеличивает эффективность улавливания (защемления) более мелких капель маслонефтепродуктов. Кроме того, уменьшение поперечного сечения каналов между гранулами и нитями «жидкостной сети» приводит к повышению скорости движения жидкости, что увеличивает коалесценцию. Теоретические расчеты с модельными материалами (гранулы сферической формы и одинакового размера) показывают, что поперечное сечение каналов между гранулами и нитями «жидкостной сети» (после формирования стабильной «жидкостной сети») уменьшается в 6,8 раза.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Фильтрующий материал в виде гранул, полученный в ООО «Воронежпеностекло», используется в разработанном и запатентованном в России способе разделения эмульсий [20, 21] и в аппарате, предназначенном для реализации данного способа [22, 23]. Решение о выдаче европейского патента на способ разделения эмульсий [24] приняло Европейское патентное ведомство. Рассматриваются заявки на выдачу патентов на способ разделения эмульсий в ряде стран, расположенных на других континентах.

В настоящее время технология «ОреФильтр» нашла широкое применение в различных сферах водоподготовки и водоочистки, что связано, в первую очередь, с постоянным увеличением объемов применения нефтепродуктов, растительных и животных жиров, которые обладают крайне неприятной особенностью – высокой адгезией к поверхности фильтровальных материалов. Закрепляясь на поверхности фильтровальных материалов, нефтепродукты и жиры смешиваются с механическими загрязнениями и формируют непроницаемый, плотный слой, фактически асфальтобетонную смесь. Отмыть фильтр от таких загрязнений без негативного воздействия на фильтрующий материал практически невозможно.

Технология «ОреФильтр» прошла опытно-промышленную апробацию на более полусотни производственных объектов различных отраслей промышленности (в основном, связанных с нефтедобычей и переработкой нефти) в целом ряде стран:

- Россия (ПАО «Татнефть», ПАО «Газпром», ПАО «Лукойл», ООО «РИТЭК», «НК «Роснефть» и др.);
- Казахстан (АО «НК «КазМунайГаз», «Aktobe Oil»);
- Германия («Confidential», «Becker», «Kummetat»);
- Франция («Confidential», «Nantes Seaport»);
- Италия («ENI Genua», «Petrolteknica», AOC);
- Швеция («Ragnsells», «Fortum»).

Осуществляется тестирование технологии на промышленных объектах Ближнего Востока, Канады, США, Бразилии и Австралии.

Промышленные фильтрационные установки, использующие технологию «ОреФильтр», уже эксплуатируются на российских предприятиях ПАО «Татнефть», работают в Швеции и Германии.

В нефтедобывающей отрасли технология «ОреФильтр» позволяет эффективно удалять нефтепродукты (до 1–5 мг/л) из попутно добываемой воды (ПДВ), содержащей до 300 мг/л нефтепродуктов и механическую взвесь. Регенерация фильтра осуществляется обычной водой и позволяет осуществлять сбор уловленных нефтепродуктов. При очистке 13 400 кубометров ПДВ в сутки с концентрациями нефтепродуктов от 40 мг/л материал «ОреФильтр» в количестве 120 м^3, загруженный в напорные песчаные фильтры диаметром 3,2 м, за 4 года эксплуатации (без замены самого фильтровального материала) позволяет:

- очистить 19 564 тыс. м^3 ПДВ;
- уловить 782,5 тонн нефти;
- вернуть в производство в качестве продукта более 670 тонн нефти.

Технология «ОреФильтр» на основе стандартных напорных песчаных фильтров сокращает стоимость очистки ПДВ с 30–70 рублей (в случае применения технологий на основе нерегенерируемых сорбционных элементов фильтрации, керамических мембран, мембран ультрафильтрации и т.п.) до 2,6 рублей за 1 м^3 воды с учетом амортизации оборудования в течение 10 лет.

В странах Евросоюза (Швеции, Германии, Италии) технология «ОреФильтр» востребована на объектах переработки сточных и нефтезагрязненных вод, имеющих повышенное содержание твердых взвешенных частиц, растворенных органических соединений, тяжелых металлов и иных химических соединений, требующих применения комбинированных физико-химических методов очистки воды. Результаты применения технологии «ОреФильтр» показали, что стоимость очистки высокозагрязненной сточной воды снижается с 50–80 евро (при использовании химической и электрокоагуляции, керамических мембран, мембран ультрафильтрации с частотой замены фильтровальных элементов не реже 1 раза в 2–3 месяца) до 4–9 евро за 1 м^3 воды с учетом амортизации оборудования (10 лет) и применения методов химической подготовки воды (от растворенных органических элементов и тяжелых металлов).

На целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК) Швеции и Германии технология «ОреФильтр» обеспечила эффективное улавливание нефтепродуктов и эфирных масел хвойных пород деревьев при очистке сточных вод, что значительно улучшило работу биологических систем очистки (ЦБК, в основном, оборудованы биологическими системами очистки сточных вод перед сбросом в муниципальные очистные сооружения или в природные источники воды). Аналогичные запросы имеются и от российских ЦБК.

Технология «ОреФильтр» прошла апробацию на предприятиях металлургической промышленности, где источниками нефтепродуктов в воде являются технологические утечки смазочных веществ и гидравлических масел, специальных смазочных защитных соединений для штамповки металлов и защиты поверхностей от окисления. Результаты испытаний продемонстрировали высокую степень очистки загрязненной воды от нефтепродуктов, механических взвесей и специфичных загрязнений металлообрабатывающей промышленности – окалины (частиц металла высокой плотности).

Опытно-промышленные исследования доказали эффективность применения разработанной технологии:

- в пищевой промышленности (сахарные и спиртовые заводы, очистка конденсата от органических жиров);
- на заводах по производству моющих средств и мыла (очистка конденсата от растительных жиров);
- на горно-обогатительных комбинатах (очистка сточных вод от остатков нефтепродуктов синтетического и органического происхождения);
- при очистке портовых балластных и льяльных вод, загрязненной воды после мойки нефтеналивных танкеров;
- в аквакультуре, например, в рыбоводстве, в частности, при форелеводстве (для очистки вод замкнутого цикла перед системами биологической очистки воды от жиров, источником которых являются интенсивные корма, с повышенным содержанием растительных и животных жиров);
- в морских океанариумах и дельфинариях (Московский Океанариум на ВДНХ уже 3 года подряд выигрывает международный конкурс «АСПРО ОСИО» в номинации на «Самую прозрачную воду среди дельфинариев РФ, ЕС и Ближнего Востока», поскольку используемая в океанариуме для удаления жиров и механической/органической взвеси из воды технология «ОреФильтр» позволяет достигать прозрачности воды до 13 метров).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оспанова Ж.Х., Хантурин М.Р. Фиторемедиация нефтезагрязненной сточной воды // Вестник ОГУ. – 2010. – № 12 (118). – С. 74–77.

2. Кузнецова В.М., Овсянкина А.В. Современный взгляд на методы очистки сточных вод на нефтеперерабатывающих заводах и предприятиях // Молодой ученый. – 2017. – № 32 (166). – С. 4–9.

3. Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Чесноков Н В., Щипко М.Л., Кузнецов Б.Н. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Журнал СФУ. Химия. – 2010. – № 3. – С. 285–304.

4. Черненко Т.В., Иматуллина Г.К., Резуанов Д.А., Киреева А.Т., Халитов А.К. Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов // Проблемы и перспективы современной науки: сборник научных трудов Четвертой международной телеконференции «Фунда-

ментальные науки и практика». – Томск. – 2011. – Том 3, № 1. – URL: http://masters.donntu.org/2012/feht/shirokorodova/library/article9.htm (дата обращения: 16.03.2021).

5. Кулигин С.В., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Гранула фильтрующего материала для деэмульсации // Патент 2652695 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 13.

6. Косяков А.В., Ишков А.Д., Кулигин С.В. и др. Гранула фильтрующего материала для разделения эмульсий // Патент 2661228 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 20.

7. Демин М.В., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Гранула фильтрующего материала для разделения эмульсий // Патент 2661233 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 20.

8. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Способ получения гранулированного фильтрующего материала // Патент 2630554 РФ МПК C1. 2017. Бюл. № 26.

9. Косяков А.В., Благов А.В., Рововой В.В. и др. Гранулированный фильтрующий материал // Патент 2628391 РФ МПК C1. 2017. Бюл. № 23.

10. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Гранулированный фильтрующий материал // Патент 170334 РФ МПК U1. 2017. Бюл. № 12.

11. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Установка для получения гранулированного фильтрующего материала из диатомита // Патент 168903 РФ МПК U1. 2017. Бюл. № 6.

12. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Фильтрующий материал // Патент 2641742 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 3.

13. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Фильтрующий и/или сорбирующий материал // Патент 173572 РФ МПК U1. 2017. Бюл. № 25.

14. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Гранулированный фильтрующий и/или сорбирующий материал // Патент 2640548 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 1.

15. Косяков А.В., Благов А.В., Кулигин С.В. и др. Гранулированный фильтрующий и/или сорбирующий материал // Патент 176291 РФ МПК U1. 2018. Бюл. № 2.

16. Кулигин С.В., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Гранула фильтрующего материала для деэмульсации // Патент 179222 РФ МПК U1. 2018, Бюл. № 13.

17. Косяков А.В., Ишков А.Д., Кулигин С.В. и др. Гранула фильтрующего материала для разделения эмульсий // Патент 176145 РФ МПК U1. 2018. Бюл. № 1.

18. Демин М.В., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Гранула фильтрующего материала для разделения эмульсий // Патент 176482 РФ МПК U1. 2018. Бюл. № 3.

19. Kim P., Wong T.-S., Alvarenga J. et al. Liquid-infused nanostructured surfaces with extreme anti-ice and anti-frost performance. *ACS nano*. 2012;6(8):6569–6577.

20. Белов П.В., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Способ разделения эмульсий // Патент 2664936 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 24.

21. Косяков А.В., Белов П.В., Ишков А.Д., Лапенко А.А. Технология очистки воды от нефти и маслонефтепродуктов с помощью «водяного» фильтра на минеральном пористом носителе // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2021. – № 1(121). – С. 32–37.

22. Кирин М.П., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Аппарат для разделения эмульсий // Патент 2652255 РФ МПК C1. 2018. Бюл. № 12.

23. Кирин М.П., Ишков А.Д., Косяков А.В. и др. Аппарат для разделения эмульсий // Патент 178810 РФ МПК U1. 2018. Бюл. № 11.

24. Belov P.V., Ishkov A.D., Kosyakov A.V. et al. *Method of emulsion separation*. European Patent 3513853. 2019-07-24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кулигин Сергей Владимирович, заместитель директора Общества с ограниченной ответственностью «Воронежпеностекло»; г. Воронеж, Россия, e-mail: ksv.road@gmail.com

Косяков Александр Викторович, канд. техн. наук, главный инженер Общества с ограниченной ответственностью «Воронежпеностекло»; г. Воронеж, Россия, e-mail: alexkos33@yandex.ru

Белов Петр Васильевич, директор Общества с ограниченной ответственностью «Лайтор»; г. Воронеж, Россия, e-mail: peter.belov@lightore.com

Лапенко Александр Александрович, канд. хим. наук, главный технолог Общества с ограниченной ответственностью «Воронежпеностекло»; г. Воронеж, Россия, e-mail: lapenkoaa@gmail.com

Ишков Александр Дмитриевич, канд. психол. наук, доцент, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), зав. кафедрой социальных, психологических и правовых коммуникаций, г. Москва, Россия, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1709-0175, e-mail: aishkov@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 02.03.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 31.03.2021.
Статья принята к публикации: 02.04.2021.

DEVELOPMENT OF NEW POLYMER MATERIALS

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-73-78
Article type: Review article

Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part III

A.K. Mazitova, G.K. Aminova, E.A. Buylova, I.I. Zaripov, I.N. Vikhareva*
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia
*** Corresponding author:** e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

ABSTRACT: One of the most demanded materials on the planet is plastic, the excellent performance of which contributes to the accumulationof a significant amount of waste on its basis. In this regard, a new approach to the development of these materials hasbeen formed in scientific circles: the production of polymer composites with constant performance characteristics for a certain period and then capable of destruction under the influence of environmental factors. Analysis of the current state of the industry of polymeric materials shows that the most urgent is the use of such classical polymers as polyolefins and polyvinyl chloride. First of all, the optimal solution to this problem due to the lack of a suitable replacement for traditional polymers is the development of composites based on them with the use of biodegradable additives. In this case, a set of problems associated with waste disposal issolved: the decomposition period of the recycled waste is significantly reduced, the territories required for plastic waste are reduced. The paper outlines the preconditions for the emergence and further development of the field of biodegradable polymers. The main quantitative characteristics of the production capacities of manufactured bioplastics by types, regions and industries of application are given. Modern methods of reducing and regulating the degradation time of polymer materials are presented. The main global and domestic manufacturers of biodegradable polymers and their products are listed, as well as a list of the main manufacturers of biodegradable additives for polymeric materials. Modern types of bioplastics based on renewable raw materials, composites with their use, aswell as modified materials from natural and synthetic polymers are listed. The main methods for determining the biodegradability of existing bioplastics are described.

KEYWORDS: biodegradation, biodegradable additives, petrochemical raw materials, polymers, plasticizers, plant sources.

FOR CITATION: Mazitova A.K., Aminova G.K., Buylova E.A., Zaripov I.I., Vikhareva I.N. Biodegradable polymer materialsand modifying additives: state of the art. Part III. *Nanotechnologies in Construction.* 2021; 13(2): 73–78. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-73-78.

NATURAL BIODEGRADABLE POLYMERS

Natural polymers are characterized by controlled biodegradation in nature, under the influence of microorganisms, water and soil, these materials decompose mainly into carbon dioxide and water. The main sources of raw materials are starch, cellulose derivatives, chitin, chitosan, lactic acid, hydroxyalkanoates.

High molecular weight carbohydrates. The main way of using these biopolymers for practical purposes is the development of biodegradable composites with properties similar to those of traditional plastics [55–57].

Starch. To create bioplastics, chemically modified starch is used, which leads to a change in its main properties: hydrophilic, rheological, physicochemical. The main technique is cross-linking due to hydroxyl groups [57]. Starch copolymers and starch-based composites are used as thermoplastic materials [58].When silica is added, thermoplastically processed starch is obtained in the form of nanocomposites with a water content of less than 10% [59].

Destructed starch is used in composites with synthetic polymers (polyethylene, polyvinyl alcohol, aliphatic polyesters, polyoxybutyrate) [59–62].

A wide range of complexing agents (deoxy succinates, epoxides, layered organosilicates) are used to regulate the biodegradation period [61–62].

Cellulose. Thermoplastic and soluble cellulose derivatives are obtained by chemical modification. In practice, cellulose ethers and esters are often used, obtained

© Mazitova A.K., Aminova G.K., Buylova E.A., Zaripov I.I., Vikhareva I.N., 2021

by interaction with OH-groups (3 alcohol hydroxyls) in each monosaccharide unit [63–66]. Other modifications of cellulose are also obtained: alkaline (under the action of sodium hydroxide solution), carboxymethyl cellulose (ether with glycolic acid), methyl cellulose of three modifications (methyl cellulose ether), mono-, di- and triacetyl cellulose (cellulose triacetate), nitrocellulose of three modifications (cellulose nitrates) [67].

Nitrocellulose is the basis of the first man-made plastic (celluloid). Its main disadvantage is easy flammability and release of toxic nitrogen oxides during combustion [67].

Etrol plastic is obtained on the basis of acetates, acetopropionates, acetobutyrates, cellulose nitrates and ethyl cellulose [67].

Chitin. There are three crystallographic modifications, which differ in the arrangement of molecular chains in the unit cell of a crystallite [68]. The most common modification, α-chitin, is characterized by close packing of macromolecules and is provided by antiparallel arrangement of chains in the unit cell. β-Chitin is an unstable crystal hydrate with a parallel arrangement of chains. The γ-chitin cell has two parallel chains and one antiparallel to them. The possibilities of chemical modification of chitin facilitate the production of materials of various structures and properties and solve environmental problems by using them in biodegradable polymers [69–70].

Chitosan. In contrast to chitin, chitosan has wider application possibilities [71]. After treatment with a deacetylation reaction, the crystalline regions will contain residual acetyl groups [72–73]. The distribution of these groups affects the deformation and strength properties of the fibers. During the enzymatic hydrolysis of chitosan, low molecular weight compounds are obtained that are biodegradable and biocompatible, and are non-toxic. The fibers obtained from a chitosan solution by the NANOSPIDER technology are distinguished by an overdeveloped surface and porosity, and have an effective wound healing and bactericidal activity [74].

Natural rubber. Rubber is isolated from the latex by coagulation with formic, oxalic or acetic acid and subjected to further processing. However, the production of stereoregular synthetic rubbers contributed to the reduction of the use of natural rubber in a number of industries [75–76].

Polyhydroxyalkanoates. The most promising is poly-3-hydroxybutyrate or polyhydroxybutyrate (PHB), discovered by microbiologists in 1925. Bacterial PHB is characterized by good elastic-strength properties, optical activity, thermoplasticity, and piezoelectric properties [77]. Articles made of such polymers are obtained from a melt or from its solutions in organic solvents in pure form and as a component of mixtures and copolymers based on it [78]. In terms of technological characteristics, it is practically not inferior to traditional thermoplastics, does not require special disposal, does not pollute the environment [79]. The production of PHB is waste-free and characterized by low energy consumption.

The compatibility of these biopolymers with industrial synthetic ones has contributed to the creation of new multicomponent composites, which reduces the cost of products [80-82].

Protein. The use of proteins for the production of biodegradable composite materials is not widely used. Block copolymers for medical purposes are known [76].

SYNTHETIC BIODEGRADABLE POLYMERS

Traditional polymers are characterized by enhanced physical, mechanical and performance characteristics, biological stability [10, 17]. The production of composites based on them is an effective and cost-effective method of modification, allows the maximum use of the properties of each, and also contributes to the disposal of industrial polymer waste.

One of the methods for obtaining biodegradable synthetic plastics is the synthesis of polyesters and polyesteramides, for example, copolyesters based on aliphatic diols and organic dicarboxylic acids [12, 25].

Another method for creating biodegradable PM is the development of composites based on natural polymers, for example, starch, cellulose, chitosan, or proteins [25, 31–33]. It is important to choose the right ratio of the components, at which the operational properties of the obtained PM approach the properties of the original conventional polymers.

Polyolefins (polyethylene and polypropylene). The use of starch in the serial production of biodegradable polyethylene-based PMs has been mastered by several companies: packaging material under the Mater-Bi brand from Novamont S.p.A. (Italy); Polyclean TM concentrate for the production of biodegradable films from Archer Daniels Midland (USA); Ecostar Plus concentrate from St. Sawrence Starch (USA). In addition to starch, the composition includes additives that act as a catalyst for the biodegradation of starch [83-85].

The most famous product with the addition of starch is the Mater-Bi material from Novamont S.p.A (Italy), which degrades in the soil in 60 days without the release of harmful products [83].

For packaging, composites are being developed based on polyethylene and polypropylene waste with the addition of wastes from flour and cereals, starch, sugar, and confectionery enterprises [86]. Chitin and chitosanare known to be used as fillers [69–70].

Photodegradable copolymers of ethylene with carbon monoxide have been developed. Photoinitiators of decomposition are vinyl ketone monomers in an amount of 2–5%, cellulose pulp, alkyl ketones or fragments containing carbonyl groups. The resulting films serve for

8–12 weeks, then they are photo- and biodegradable. Iron and nickel dithiocarbamate and their peroxides are also used as photosensitive additives.

Polyvinyl chloride. Basically, to accelerate the degradation process of composites with PVC, additives are used: natural high-molecular compounds that make up various food products – starch, rye, corn and wheat flour, barley, millet, buckwheat grain processing waste, wood processing products (wood flour), cellulose, etc. its derivatives, lignin, yeast, or blue-green algae [85–86].

The introduction of fillers weaken the polymer chain of PVC molecules. When injected into the soil, the formed monomeric fragments serve as a nutrient medium for microorganisms; the period of their biodegradation is from 6 to 36 months [87].

The nature of the plasticizer in the PVC composition also has a significant effect on biodegradation. PVC materials plasticized with phthalates of higher alcohols are the most resistant to the action of microorganisms, while the least biostable are compositions containing sebacates [87–88]. The authors of the article have obtained a class of non-toxic biodegradable plasticizers for adipates of oxyalkylated alcohols of the aliphatic and aromatic series. The use of such alcohols increases the degree of decomposition of the material. In the works, the biodegradation of PVC plasticates using the developed plasticizers is investigated, the ecotoxicity of their decay products is studied [89–92].

Polystyrene. Starch is mainly used as a biodegradable additive for the creation of biodegradable composites based on polystyrene [93–94]. To improve the compatibility of polymer components, copolymers of polystyrene and maleic anhydride have been proposed [95]. It is known to obtain photodegradable polymers based on PS by synthesizing copolymers of styrene with carbon monoxide [96]. The introduction of vinyl ketone monomers in an amount of 2–5% as a copolymer to styrene makes it possible to obtain photodegradable polymers. Of interest are the developed functionalized polymers and copolymers of styrene as polymer binders in biodegradable plastics. The range of such bioplastics is small, and their cost is 2–3 times higher than the cost of large-capacity polymers incapable of biodegradation [97].

Polyesters and polyesteramides. Polyethylene terephthalate (PET) and polybutylene terephthalate (PBT) are characterized by high biostability [98–101]. However, if the polymer envelops the filler well, the mushroom resistance of the resulting composition is high.

To create BPM based on polyesters, it is possible to use hydroxy acids as modifying components. Also, an expected method of increasing the biodegradability of PET is compounding it with a biodegradable component, for example, with starch. However, during the composting process, only starch is rapidly decomposed, and PET generally does not biodegrade [98–101].

Polylactides. The industrial synthesis of polylactide is carried out by polymerization of lactide [102–104] or by azeotropic polycondensation of lactic acid [103]. Today polylactide is one of the cheapest biodegradable plastics, but much more expensive than polyethylene and polystyrene. However, the development of a less energy-intensive industrial method for producing polylactide continues. For this purpose, to increase the stereospecificity of the process, compounds of zirconium, hafnium, gold, and platinum are used as catalysts [104–106].

Polylactide with a molecular weight of 102,000 and an extremely high melting point (210–218°C) is known to be obtainedthrough formation of a special supramolecular structure [104–106].

Despite the advantages of polylactide, the rate of its biodegradation (half-life is 168 days) is quite high. For this reason, research is underway to obtain biodegradable copolymers of lactic acid with a controlled rate of biodegradation.

A promising comonomer is glycolide obtained from glycolic or monochloroacetic acids [107]. Polyglycolide due to hydrolytic instability (20 days) imposes certain restrictions on its use as a surgical material.

The synthesis of such copolymers makes it possible to successfully combine the properties of polylactide and polyglycolide and to control the rate of biodegradation [108–111].

The synthesis of copolymers based on dimethyl terephthalate, lactic acid and hexanediol using titanium butoxide as a catalyst has been developed [108–111].

CONCLUSION

Analysis of information sources showed that in the field of biodegradable plastics, there is a constant increase in the production capacity of already demanded polymeric materials, as well as the development and expansion of the range of new compositions that are characterized by environmental friendliness, the ability to modify the required specified service life and the ability to biodegrade without harming the environment. In connection with this, the range of developed biodegradable additives is also expanding.

In modern research, from our point of view, an important problem is to impart biodegradability properties to large-tonnage traditional polymers (polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride, etc.), the production of which is currently more environmentally friendly, energy- and resource-saving and provides them with undeniable advantages.

However, due to the depletion of petrochemical sources of raw materials for the production of traditional synthetic polymers, it is necessary to develop additional possibilities and promising directions for creating analogues of these polymers from plant raw materials.

At present, promising biodegradable bio-based plastics, for example, polylactides, polyesters and polyhydroxoalkanoates, are distinguished by wide possibilities for modeling the structure and properties of the materials obtained and are approaching the main indicators of traditional synthetic polymeric materials. But their serial production is not organized, which is primarily due to the availability of raw materials and its high cost, and also the reduction of the risk of the negative impact of the decay products of bioplastics on nature and the animal world is not fully justified.

REFERENCES

55. Yu L., Dean K., Li L. Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in Polymer Science*. 2006; 3: 576–602.

56. Klinkov A.S. Utilization of polymer containers and packaging: textbook. Tambov: TSTU; 2008.

57. Jiménez A., Fabra M.J., Talens P. et al. Edible and Biodegradable Starch membranes: A Review. *Food Bioprocess Technol*. 2012; 5: 2058–2076. Available from: doi: 10.1007/s11947-012-0835-4.

58. Legonkova O.A. Packaging materials made of biodegradable materials based on polylactide and starch. *Food industry*. 2009; 6: 12–13.

59. Rybkina S.P. Biodegradable packaging materials based on polysaccharides (starch). *Plastic mass*. 2012; 2: 61–64.

60. Arifa S., Arifa T., Adeel M., Amtul Bari T. Abdullah Y., Pugazhendhi A. A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020; 2. Available from: doi: 10.1016/j.bcab.2020.101540.

61. Ermolovich O.A. Influence of compatibilizer additives on technological and operational characteristics of biodegradable materials based on starch-filled polyethylene. *Journal of Applied Chemistry*. 2006; 79(9): 1542–1547.

62. Vinidiktova N.S. Environmentally friendly oriented films based on polypropylene. *Materials. Technology. Instruments*. 2008; 13(4): 14–19.

63. Dauenhauer P., Krumm C., Pfaendtner J. Millisecond Pulsed Films Unify the Mechanisms of Cellulose Fragmentation. *Chemistry of Materials: journal*. 2016; 28(1): 0001. Available from: doi: 10.1021/acs.chemmater.6b00580.

64. Garaeva M.R. , Gotlib E.M., Nikitina N.N., Kostochko A.V. Effect of plasticizers on the crystal structure of cellulose acetates. *Plastic masses*. 2007; 3: 51–52.

65. Rogovin Z.A. *Chemical transformations and modification of cellulose*. Moscow: Himiya; 1979.

66. Belokurova A.P. Diffusion and dissolution of water vapor in plasticized cellulose acetates. *Plastic mass*. 2007; 8: 24–26.

67. Discovery of Lignin in Seaweed Reveals Convergent Evolution of Cell-Wall Architecture. *Current Biology*. 2009; 19: 169–175. Available from: doi:10.1016/j.cub.2008.12.031.

68. Varlamov V.P., Ilyina A.V., Shagdarova B.T., Lunkov A.P., Mysyakina I.S. Chitin / chitosan and it's derivatives: fundamental and applied aspects. *Advances in biological chemistry*. 2020; 60: 317–368.

69. Shamshina J.L., Kelly A., Oldham T. et al. Agricultural uses of chitin polymers. *Environ Chem Lett*. 2020; 18: 53–60. Available from: doi: 10.1007/s10311-019-00934-5.

70. Barikani M., Oliaei E., Seddiqi H., Honarkar H. Preparation and application of chitin and its derivatives: a review. *Iran Polym J*. 2014; 23: 307–326. Available from: doi: 10.1007/s13726-014-0225-z.

71. Cho Y.I., No H.K., Meyers S.P. Physico-chemical characteristics and functional properties of various commercial chitin and chitosan products. *J. Agric Food Chem*. 1998; 46: 3839–3843. Available from: doi: 10.1021/jf971047f.

72. Klemm D. Cellulose. In: Biopolymers. *Polysaccharides II: polysaccharides from eukaryotes*. Weinheim:Wiley-VCH; 2005. 275–287 p.

73. Leuba J.L., Stossel P. *Chitosan and other polyamines: antifungal activity and interaction with biological membranes*. In: Muzzarelli R., Jeuniaux C., Gooday G.W. (eds) Chitin in nature and technology. Springer: Boston; 1986. 215–222 p.

74. Danilevsky A.Ya. Biological and chemical reports on protein substances (materials for their chemical constitution and biogenesis). *Physiological collection*. 1988; 1: 289.

75. Pain R.H. Mechanisms of Protein Folding. 2nd Edition, New York: Oxford University Press; 2000.

76. Rabotyagova O.S., Cebe P., Kaplan D. Protein-Based Block Copolymers. *Biomacromolecules*. 2011; 269–289. Available from: doi: 10.1021/bm100928x.

77. Antipov E.M. et al. Highly oriented fibers of biodegradable polyhydroxyalkanoates.*Ecology and Industry of Russia*. 2010; 5: 30–36.

78. Andreeva T.I. et al. Isolation and purification of biodegradable polyhydroxybutyrate for medical products. *Ecology and Industry of Russia*. 2010; 5: 72–77.

79. Hatti-Kaul R., Nilsson L., Zhang B., Rehnberg N., Lundmark S. Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics.*Trends in biotechnology*. 2020; 38(1): 50–67. Available from: doi: 10.1016/j.tibtech.2019.04.011.

80. Koller M. Switching from petro-plastics to microbial polyhydroxyalkanoates (PHA): the biotechnological escape route of choice out of the plastic predicament? *The EuroBiotech Journal*. 2019; 3(1): 32–44. Available from: doi: 10.2478/ebtj-2019-0004.

81. Vu D.H., Akesson D., Taherzadeh M.J., Ferreira J.A. Recycling strategies for polyhydroxyalkanoate-based waste materials: An overview. *Bioresource Technology*.2020; 298. Available from: doi: 10.1016/j.biortech.2019.122393.

82. *Encyclopedia of Polymer Sceince and Technology*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.

83. Chen G. Plastics derived from biological sources: Present and future: P technical and environmental review. *Chemical Reviews*. 2012; 112(4): 2082–2099. Available from: doi: 10.1021/cr200162d.

84. Mishra S.B., Mishra A.K., Kaushik N.K., Khan M.A. Study of performance properties of lignin-based polyblends with polyvinyl chloride.*Journal of Materials Processing Technology*. 2007; 183(2-3): 273–276. Available from: doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.10.016.

85. Olekhnovich R.O., Sitnikova V.E., Chereneva S.V., Volkova K.V. Belukhichev E.V. *Study of the kinetics of thermal degradation of polymer composites based on polyvinylchloride film and biopolymer filler*. In: International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, Sofia, 2018; 18(4.1). Available from: doi: 10.5593/sgem2018/4.1/S17.084.

86. Piergiovanni L., Limbo S. *Plastic Packaging Materials*.In: Food Packaging Materials. Springer Briefs in Molecular Science. Springer, Cham. 2020. Available from: doi: 10.1007/978-3-319-24732-8_5.

87. Lirova B.I. Influence of the nature of plasticizers on the properties of a film material based on PVC. *Applied Chemistry*. 2007; 77(10): 1707–1713.

88. Lirova B.I. Study of the process of migration from plasticized compositions based on PVC. *Applied chemistry*. 2006; 79(6): 1018–1027.

89. Vikhareva I.N., Builova E.A., Gatiyatullina D.R., Arslanov V.R., Gilemyanov D.A., Mazitova A.K. Synthesis and properties of esters of adipic acid. *Bashkir chemical journal*. 2019; 26(2): 33–36.

90. Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Aminova G.K., Savicheva Ju.N., Gareeva N.B., Shaikhullin I.R. The influence of nanoadditives in the synthesis of eco-friendly polyester plasticizers. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(1): 21–26. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-21-26.

91. Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Maskova A.R., Gareeva N.B., Shaikhullin I.R. The effect of additives on the biodegradation of PVC materials.*Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(2): 94–99. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-94-99.

92. Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Aminova G.K., Savicheva Yu.N. Application of Zinc Oxide to Obtain and Modify Properties of Adipate Plasticizer of Polyvinyl Chloride.*Polymers*. 2020; 12(8): 1728.

93. Berruezo M., Ludueña L.N., Rodriguez E., Alvarez V.A. Preparation and characterization of polystyrene / starch blends for packaging applications.*Journal of plastic films and sheeting*. 2015; 30(2): 141–161.

94. Pushpadass H.A., Weber R.W., Dumais J.J. Biodegradation characteristics of starch – polystyrene loose-fill foams in a composting medium. *Bioresource technology*. 2010; 101(19): 7258–7264.

95. Utracki L.A., Shi G.Z., Rodrigue D., Gonzalez-Núñez R. *Compounding Polymer Blends, Polymer Blends Handbook*. 2014. p. 919–1028. Available from: doi: 10.1007/978-94-007-6064-6.

96. Favis B.D. Polymer alloys and blends: Recent advances.*The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2009; 619–625. Available from: doi: 10.1002/cjce.5450690303.

97. Okamoto M., Inoue T. Reactive processing of polymer blends: Analysis of the change in morphological and interfacial parameters with processing. *Polymer Engineering & Science*. 2004; 175–182. Available from: doi: 10.1002/pen.760330308.

98. Inoue T. *Morphology of Polymer Blends, Polymer Blends Handbook*. 2003. p. 547–576. Available from: doi: 10.1007/0-306-48244-4.

99. Brown S.B. *Reactive Compatibilization of Polymer Blends, Polymer Blends Handbook*. 2003. p. 339–415. Available from: doi: 10.1007/0-306-48244-4.

100. Wang R., Wang W. Synergistic effect of dual rubber system in toughening styrene maleic anhydride copolymers.*Journal of Applied Polymer Science*. 2003; 2260–2267. Available from: doi: 10.1002/app.12896.

101. Yang Li-Ying, Bigio D., Smith T.G., Melt blending of linear low-density polyethylene and polystyrene in a Haake internal mixer. II. Morphology-processing relationships. *Journal of Applied Polymer Science*. 2003; 129–141. Available from: doi: 10.1002/app.1995.070580114.

102. Maharanaa T., Mohantyb B., Negi Y.S. Melt-solid polycondensation of lactic acid and its biodegradability // Progress in Polymer Science. 2008, V. 34: 99–124 p.

103. Garlotta D. A literature review of poly (lactic acid). *J. Polym Environ*. 2001: 63–84.

104. Kamluk A.N., Likhamanau A.O. Experimental determination of the rational geometrical parameters of the sprinkler frame arms and deflector on the expansion rate and stability of foam. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series. 2019; 64(1): 60–68. Available from: doi: 10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68.

105. Belov D. Biodegradable polymer polylactide. *Science and innovations*. 2013; 9: 21–23.

106. Fomin V.A. State and development directions of work on obtaining biodegradable polymers from lactic acid. *Plastic mass*. 2012; 3: 56–64.

107. Ayyoob M., Lee S., Kim Y.J. Well-defined high molecular weight polyglycolide-b-poly (L-) lactide-b-polyglycolide triblock copolymers: synthesis, characterization and microstructural analysis. *J. Polym Res*. 2020; 27: 109. Available from: doi: 10.1007/s10965-019-2001-4.

108. Cameron R.E., Kamvari M. A Synthetic bioresorbable polymers. In: *Durability and reliability of medical polymer*. Woodhead Publishing; 2020. p. 96–118.

109. Dobrzynski P., Kasperczyk J., Janeczek H., Bero M. Synthesis of biodegradable glycolide/l-lactide copolymers using iron compounds as initiators. *Polymer (Guildf)*. 2002; 43: 2595–2601. Available from: doi: 10.1016/S0032-3861(02)00079-4.

110. Gorrasi G., Meduri A., Rizzarelli P. et al. Preparation of poly(glycolide-co-lactide)s through a green process: analysis of structural, thermal, and barrier properties. *React & Funct Polym*. 2016; 109: 70–78. Available from: doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2016.10.002.

111. Ramdhanie L.I., Aubuchon S.R., Boland E.D. et al. Thermal and mechanical characterization of electrospun blends of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). *Polym J*. 2006; 38: 1137–1145. Available from: doi: 10.1295/polymj.PJ2006062.

The paper «Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part I» was published in the journal «Nanotechnologies in Construction» No. 6/2020. The paper «Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part II» was published in the journal «Nanotechnologies in Construction» No. 1/2021.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aliya K. Mazitova, Dr. Sci. (Chem.), Prof., Head of Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2304-1692, e-mail: elenaasf@yandex.ru

Guliya K. Aminova, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, e-mail: aminovagk@inbox.ru

Evgeniya A. Buylova, Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor of Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, e-mail: evg-builova@yandex.ru

Ilnaz I. Zaripov, Graduate student, Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2051-831X, e-mail: ilnaz.zaripov1996@mail.ru

Irina N. Vikhareva, Assistant, Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5681-2767, e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 15.10.2020.
Revised: 26.11.2020.
Accepted: 29.11.2020.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-73-78
УДК 678
Тип статьи: Обзорная статья

Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть III

А.К. Мазитова, Г.К. Аминова, Е.А. Буйлова, И.И. Зарипов, И.Н. Вихарева*
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия
***Контакты:** e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

РЕЗЮМЕ: Один из самых востребованных материалов на планете – пластик, отличные эксплуатационные характеристики которого способствуют накоплению значительного количества отходов на его основе. В связи с этим в научных кругах сформировался новый подход к разработке данных материалов: получение полимерных композитов с постоянными эксплуатационными характеристиками в течение определенного срока и способных затем к деструкции под действием факторов окружающей среды. Анализ современного состояния отрасли полимерных материалов показывает, что наиболее актуальным остается применение таких классических полимеров, как полиолефины и поливинилхлорид. В первую очередь оптимальным решением данной проблемы в связи с отсутствием подходящей замены традиционным полимерам является разработка композитов на их основе с привлечением биоразлагающих аддитивов. В таком случае решается комплекс проблем, связанных с утилизацией отходов: значительно сокращается период разложения утилизируемых отходов, сокращаются территории, необходимые для пластиковых отходов.
В работе изложены предпосылки возникновения и дальнейшего развития области биоразлагаемых полимеров. Приведены основные количественные характеристики производственных мощностей выпускаемых биопластиков по типам, регионам и отраслям применения. Представлены современные способы снижения и регламентации времени деградации полимерных материалов. Перечислены основные мировые и отечественные производители биоразлагаемых полимеров и выпускаемая ими продукция, а также список основных производителей биоразлагающих добавок для полимерных материалов. Перечислены современные виды биопластиков на основе возобновляемого сырья, композитов с их применением, а также модифицированных материалов из природных и синтетических полимеров. Описаны основные методы определения биоразлагаемости существующих биопластиков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биодеградация, биоразлагаемые добавки, нефтехимическое сырье, полимеры, пластификаторы, растительные источники.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазитова А.К., Аминова Г.К., Буйлова Е.А. Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 73–78. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-73-78.

ПРИРОДНЫЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Природным полимерам свойствена регулируемая биодеградация в природе, под воздействием микроорганизмов, воды и почвы данные материалы разлагаются в основном на углекислый газ и воду. Основными источниками сырья являются крахмал, производные целлюлозы, хитин, хитозан, молочная кислота, гидроксиалканоаты.

Высокомолекулярные углеводы. Основным способом использования данных биополимеров в практических целях является разработка биодеградируемых композитов, характеризующихся свойствами, близкими к традиционным пластикам [55–57].

Крахмал. Для создания биопластиков используют химически модифицированный крахмал, что приводит к изменению его основных свойств: гидрофильных, реологических, физико-химических.

© Мазитова А.К., Аминова Г.К., Буйлова Е.А. Зарипов И.И., Вихарева И.Н., 2021

Основным приемом является поперечное сшивание за счет гидроксильных групп [57]. В качестве термопластичных материалов используют сополимеры крахмала, композиты на основе крахмала [58]. При добавлении кремнезема получают термопластично перерабатываемый крахмал в виде нанокомпозитов с содержанием воды менее 10% [59]. Деструктурированный крахмал используют в композитах с синтетическими полимерами (полиэтиленом, поливиниловым спиртом, алифатическими полиэфирами, полиоксибутиратом) [59–62].

Для регламентации срока биоразложения используют широкий спектр комплексообразующих агентов (дезоксисукцинаты, эпоксиды, слоистые органосиликаты) [61–62].

Целлюлоза. Термопластичные и растворимые производные целлюлозы получают с помощью химической модификации. В практике чаще используют простые и сложные эфиры целлюлозы, получаемые при взаимодействии с ОН-группами (3 спиртовых гидроксила) в каждом моносахаридном звене [63–66]. Получают и другие модификации целлюлозы: щелочная (при действии раствора едкого натра),карбоксиметилцеллюлоза (простой эфир с гликолевой кислотой), метилцеллюлоза трех модификаций (простой метиловый эфир целлюлозы), моно-, ди- и триацетилцеллюлоза (триацетат целлюлозы), нитроцеллюлоза трех модификаций (нитраты целлюлозы) [67].

Нитроцеллюлоза – основа первой искусственной пластмассы (целлулоида). Ее главный недостаток – легкая воспламеняемость и выделение токсичных оксидов азота при горении [67].

На основе ацетатов, ацетопропионатов, ацетобутиратов, нитратов целлюлозы и этилцеллюлозы получают пластик этрол [67].

Хитин. Существует три кристаллографические модификации, различные по расположению молекулярных цепей в элементарной ячейке кристаллита [68]. Наиболее распространенная модификация – α-хитин – характеризуется плотной упаковкой макромолекул и обеспечивается антипараллельным расположением цепей в элементарной ячейке. β-Хитин представляет собой неустойчивые кристаллогидраты с параллельным расположением цепей. Ячейка γ-хитина имеет две параллельно расположенные цепи и одну антипараллельно по отношению к ним. Возможности химической модификации хитина способствуют получению разнообразных по строению и свойствам материалов и решают экологические проблемы путем использования в биодеградируемых полимерах [69–70].

Хитозан. В отличие от хитина хитозан имеет более широкие возможности для применения [71]. После обработки реакцией дезацетилирования, кристаллические области будут содержать остаточные ацетильные группы [72–73]. Распределение этих групп влияет на деформационно-прочностные свойства волокон. При ферментативном гидролизе хитозана получаются низкомолекулярные соединения, обладающие биоразрушаемостью и биосовместимостью, нетоксичностью. Получаемые волокна из раствора хитозана технологией NANOSPIDER отличаются сверхразвитой поверхностью и пористостью, обладают эффективным ранозаживляющим действием и бактерицидной активностью [74].

Натуральный каучук. Каучук выделяют из латекса коагуляцией с помощью муравьиной, щавелевой или уксусной кислоты и подвергают дальнейшей обработке. Однако получение стереорегулярных синтетических каучуков способствовало сокращению применения натурального каучука в ряде отраслей промышленности [75–76].

Полигидроксиалканоаты. Наиболее перспективным является поли-3-оксибутират или полигидроксибутират (ПГБ), открытый микробиологами в 1925 г. Бактериальный ПГБ характеризуется хорошими упруго-прочностными свойствами, оптической активностью, термопластичностью, пьезоэлектрическими качествами [77]. Изделия из подобных полимеров получают из расплава или из его растворов в органических растворителях в чистом виде и в виде компонента смесей и сополимеров на его основе [78]. По технологическим характеристикам практически не уступает традиционным термопластам, не требует специальной утилизации, не загрязняет окружающую среду [79]. Производство ПГБ безотходное, характеризуется низкой энергоемкостью.

Совместимость данных биополимеров с промышленными синтетическими способствовала созданию новых многокомпонентных композитов, что снижает себестоимость изделий [80–82].

Белки. Применение белков для получения биоразлагаемых композиционных материалов не нашло широкого распространения. Известны блок-сополимеры для медицинских целей [76].

СИНТЕТИЧЕСКИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Традиционным полимерам свойственны повышенные физико-механические и эксплуатационные характеристики, биологическая устойчивость [10, 17]. Получение композитов на их основе является эффективным и экономически выгодным методом модификации, позволяет максимально полно использовать свойства каждого, а также способствует утилизации отходов промышленных полимеров.

Одним из методов получения биоразлагаемых синтетических пластиков является синтез полиэфи-

ров и полиэфирамидов, например, сополиэфиров на основе алифатических диолов и органических дикарбоновых кислот [12, 25].

Другим методом создания биоразлагаемых ПМ является разработка композитов на основе природных полимеров, например крахмала, целлюлозы, хитозана или белков [25, 31-33]. Важно правильно подобрать соотношение компонентов, при котором эксплуатационные свойства получаемых ПМ приближаются к свойствам исходных традиционных полимеров.

Полиолефины (полиэтилен и полипропилен). Применение крахмала в серийном производстве биоразлагаемых ПМ на основе полиэтилена освоено несколькими фирмами: упаковочный материал под маркой Mater-Bi от Novamont S.p.A. (Италия); концентрат Polyclean TM для производства биоразлагаемых пленок от Archer Daniels Midland (США); концентрат Ecostar Plus от St. Sawrence Starch (США). Кроме крахмала в состав входят добавки, действующие как катализатор биодеструкции крахмала [83–85].

Наиболее известным продуктом с добавлением крахмала является материал Mater-Bi от фирмы Novamont S.p.A (Италия), который деградирует в почве за 60 суток без выделения вредных продуктов [83].

Для упаковки разрабатываются композиты на основе полиэтиленовых и полипропиленовых отходов с добавлением отходов мукомольно-крупяных, крахмалопаточных, сахарных, кондитерских предприятий [86]. Известно применение в качестве наполнителей хитина и хитозана [69-70].

Разработаны фоторазлагаемые сополимеры этилена с оксидом углерода. Фотоинициаторами разложения являются винилкетоновые мономеры в количестве 2–5%, пульпа целлюлозы, алкилкетоны или фрагменты, содержащие карбонильные группы. Получаемые пленки служат в течение 8–12 недель, затем фото- и биоразлагаются. В качестве светочувствительных добавок также используют дитиокарбамат железа и никеля и их пероксиды.

Поливинилхлорид. В основном для ускорения процесса деградации композитов с ПВХ используют добавки: природные высокомолекулярные соединения, составляющие различные продукты питания, – крахмал, ржаную, кукурузную и пшеничную муку, отходы обработки зерен ячменя, проса, гречихи, продукты переработки древесины (древесную муку), целлюлозу и ее производные, лигнин, дрожжи либо сине-зеленые водоросли [85–86].

Введение наполнителей ослабляет полимерную цепь молекул ПВХ. При попадании в почву образованные мономерные фрагменты являются питательной средой для микроорганизмов, срок их биоразложения – от 6 до 36 месяцев [87].

Природа пластификатора в ПВХ-композиции также значительно влияет на биодеградацию. ПВХ-материалы, пластифицированные фталатами высших спиртов, наиболее устойчивы к действию микроорганизмов, наименее биостойкими являются композиции с содержанием себацинатов [87-88]. Авторами статьи получен класс нетоксичных биоразлагаемых пластификаторов адипинатов оксиалкилированных спиртов алифатического и ароматического ряда. Использование подобных спиртов способствует увеличению степени разложения материала. В работах исследуется биодеградация ПВХ-пластикатов с использованием разработанных пластификаторов, изучается экотоксичность их продуктов распада [89–92].

Полистирол. В качестве биоразлагающей добавки для создания биоразлагаемых композитов на основе полистирола в основном используют крахмал [93–94]. Для улучшения совместимости полимерных компонентов были предложены сополимеры полистирола и малеинового ангидрида [95]. Известно получение фоторазлагаемых полимеров на основе ПС путем синтеза сополимеров стирола с оксидом углерода [96]. Введение винилкетоновых мономеров в количестве 2–5% в качестве сополимера к стиролу позволяет получать фоторазлагаемые полимеры. Интерес представляют разработанные функционализированные полимеры и сополимеры стирола в качестве полимерных связующих в биоразлагаемых пластиках. Ассортимент таких биопластиков небольшой, а стоимость их в 2–3 раза превышает стоимость крупнотоннажных, неспособных к биоразложению полимеров [97].

Полиэфиры и полиэфирамиды. Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) и полибутилентерефталат (ПБТ) характеризуются высокой биостойкостью [98–101]. Однако, если полимер хорошо обволакивает наполнитель, то грибостойкость получаемой композиции высока.

Для создания БПМ на основе полиэфиров возможно использование оксикислот в качестве модифицирующих компонентов. Также ожидаемым приемом увеличения биоразлагаемости ПЭТФ является компаундирование его с биодеградируемым компонентом, например, с крахмалом. Однако в процессе компостирования наблюдается быстрое разложение только крахмала, а ПЭТФ в основном не биодеградирует [98–101].

Полилактиды. Промышленный синтез полилактида осуществляется полимеризацией лактида [102–104] либо азеотропной поликонденсацией молочной кислоты [103]. На сегодняшний день полилактид – один из самых дешевых биоразлагаемых пластиков, но значительно дороже таких, как полиэтилен и полистирол. Однако продолжаются разработки менее энергоемкого промышленного способа получения

полилактида. С этой целью для повышения стереоспецифичности процесса в качестве катализаторов используют соединения циркония, гафния, золота, платины [104–106].

Известно получение полилактида с молекулярной массой 102000 и крайне высокой температурой плавления (210–218°С) за счет формирования особой надмолекулярной структуры [104–106].

Несмотря на достоинства полилактида скорость его биоразложения (период полураспада составляет 168 дней) достаточно велика. По этой причине ведутся исследования по получению биоразлагаемых сополимеров молочной кислоты с регулируемой скоростью биоразложения.

Перспективным сомономером является гликолид, полученный из гликолевой или монохлоруксусной кислот [107]. Полигликолид вследствие гидролитической нестабильности (20 суток) накладывает определенные ограничения на использование его в качестве хирургического материала.

Синтез подобных сополимеров позволяет удачно сочетать свойства полилактида и полигликолида и контролировать скорость биодеструкции [108–111].

Разработан синтез сополимеров на основе диметилтерефталата, молочной кислоты и гександиола с использованием бутоксида титана в качестве катализатора [108–111].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных данных показал, что в области биоразлагаемых пластиков происходит постоянное увеличение производственных мощностей уже востребованных полимерных материалов, а также разработка и расширение ассортимента новых композиций, которые характеризуются экологичностью, возможностью модификации необходимых заданных сроков эксплуатации и способностью к биодеградации без вреда для окружающей среды. В связи с этим также расширяется ассортимент разработанных биоразлагающих добавок.

В современных исследованиях с нашей точки зрения важной проблемой является придание свойств биоразлагаемости крупнотоннажным традиционным полимерам (полиэтилен, полипропилен, поливинхлорид и др.), производство которых на данный момент является более экологичным, энерго- и ресурсосберегающим и обеспечивает им неоспоримые преимущества.

Однако в связи с истощением нефтехимических источников сырья для производства традиционных синтетических полимеров необходимо разрабатывать дополнительные возможности и перспективные направления создания аналогов данных полимеров из растительного сырья.

В настоящее время перспективные биоразлагаемые пластики на биооснове, например полилактиды, полиэфиры и полигидроксоалканоаты, отличаются широкими возможностями моделирования структуры и свойств получаемых материалов и приближаются по основным показателям к традиционным синтетическим полимерным материалам. Но их серийное производство не организовано, что в первую очередь связано с доступностью сырья и его высокой себестоимостью, а также не полностью обосновано снижение опасности негативного воздействия продуктов распада биопластиков на природу и животный мир.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

55. Yu L., Dean K., Li L. Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in Polymer Science*. 2006; 3: 576–602.

56. Клинков А.С. и др. Утилизация полимерной тары и упаковки. – Тамбов: ТГТУ, 2008. – 64 с.

57. Jiménez A., Fabra M.J., Talens P. et al. Edible and Biodegradable Starch membranes: A Review. *Food Bioprocess Technol*. 2012; 5: 2058–2076. Available from: doi: 10.1007/s11947-012-0835-4.

58. Легонькова О.А. Упаковочные материалы из биоразлагаемых материалов на основе полилактида и крахмала // Пищевая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 12–13.

59. Рыбкина С.П. Биоразлагаемые упаковочные материалы на основе полисахаридов (крахмала) // Пластические массы. – 2012. – № 2. – С. 61–64.

60. Arifa S., Arifa T., Adeel M., Amtul Bari T. Abdullah Y., Pugazhendhi A. A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020; 2. Available from: doi: 10.1016/j.bcab.2020.101540.

61. Ермолович О.А. Влияние добавок компатибилизатора на технологические и эксплуатационные характеристики биоразлагаемых материалов на основе крахмалонаполненного полиэтилена // Журнал прикладной химии. – 2006. – Т. 79, № 9. – С. 1542–1547.

62. Винидиктова Н.С. и др. Экологически безопасные ориентированные пленки на основе полипропилена // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2008. – Т. 13, № 4. – С. 14–19.

63. Dauenhauer P., Krumm C., Pfaendtner J. Millisecond Pulsed Films Unify the Mechanisms of Cellulose Fragmentation. *Chemistry of Materials: journal.* 2016; 28(1): 0001. Available from: doi: 10.1021/acs.chemmater.6b00580.

64. Гараева М.Р. , Готлиб Е.М., Никитина Н.Н., Косточко А.В. Влияние пластификаторов на кристаллическую структуру ацетатов целлюлозы // Пластические массы. – 2007. – № 3. – С. 50–52.
65. Роговин З.А., Гальбрайх Л.С. Химические превращения и модификация целлюлозы. – М.: Химия, 1979. – 208 с.
66. Belokurova A.P. Diffusion and dissolution of water vapor in plasticized cellulose acetates. Plastic mass. 2007; 8: 24–26.
67. Белокурова А.П. и др. Диффузия и растворение паров воды в пластифицированных ацетатах целлюлозы // Пластические массы. – 2007. – № 8. – С. 24–26.
68. Varlamov V.P., Ilyina A.V., Shagdarova B.T., Lunkov A.P., Mysyakina I.S. Chitin / chitosan and it's derivatives: fundamental and applied aspects.*Advances in biological chemistry*. 2020; 60: 317–368.
69. Shamshina J.L., Kelly A., Oldham T. et al. Agricultural uses of chitin polymers. *Environ Chem Lett*. 2020; 18: 53–60. Available from: doi: 10.1007/s10311-019-00934-5.
70. Barikani M., Oliaei E., Seddiqi H., Honarkar H. Preparation and application of chitin and its derivatives: a review. *Iran Polym J*. 2014; 23: 307–326. Available from: doi: 10.1007/s13726-014-0225-z.
71. Cho Y.I., No H.K., Meyers S.P. Physico-chemical characteristics and functional properties of various commercial chitin and chitosan products. *J. Agric Food Chem*. 1998; 46: 3839–3843. Available from: doi: 10.1021/jf971047f.
72. Klemm D. Cellulose. In: Biopolymers. *Polysaccharides II: polysaccharides from eukaryotes*. Weinheim:Wiley-VCH; 2005. 275–287 p.
73. Leuba J.L., Stossel P. *Chitosan and other polyamines: antifungal activity and interaction with biological membranes*. In: Muzzarelli R., Jeuniaux C., Gooday G.W. (eds) Chitin in nature and technology. Springer: Boston; 1986. 215–222 p.
74. Danilevsky A.Ya. Biological and chemical reports on protein substances (materials for their chemical constitution and biogenesis). *Physiological collection*. 1988; 1: 289.
75. Pain R.H. Mechanisms of Protein Folding. 2nd Edition, New York: Oxford University Press; 2000.
76. Rabotyagova O.S., Cebe P., Kaplan D. Protein-Based Block Copolymers. *Biomacromolecules*. 2011; 269–289. Available from: doi: 10.1021/bm100928x.
77. Antipov E.M. et al. Highly oriented fibers of biodegradable polyhydroxyalkanoates.*Ecology and Industry of Russia*. 2010; 5: 30–36.
78. Andreeva T.I. et al. Isolation and purification of biodegradable polyhydroxybutyrate for medical products.*Ecology and Industry of Russia*. 2010; 5: 72–77.
79. Hatti-Kaul R., Nilsson L., Zhang B., Rehnberg N., Lundmark S. Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics.*Trends in biotechnology*. 2020; 38(1): 50–67. Available from: doi: 10.1016/j.tibtech.2019.04.011.
80. Koller M. Switching from petro-plastics to microbial polyhydroxyalkanoates (PHA): the biotechnological escape route of choice out of the plastic predicament? *The EuroBiotech Journal*. 2019; 3(1): 32–44. Available from: doi: 10.2478/ebtj-2019-0004.
81. Vu D.H., Akesson D., Taherzadeh M.J., Ferreira J.A. Recycling strategies for polyhydroxyalkanoate-based waste materials: An overview. *Bioresource Technology*.2020; 298. Available from: doi: 10.1016/j.biortech.2019.122393.
82. *Encyclopedia of Polymer Sceince and Technology*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
83. Chen G. Plastics derived from biological sources: Present and future: P technical and environmental review.*Chemical Reviews*. 2012; 112(4): 2082–2099. Available from: doi: 10.1021/cr200162d.
84. Mishra S.B., Mishra A.K., Kaushik N.K., Khan M.A. Study of performance properties of lignin-based polyblends with polyvinyl chloride. *Journal of Materials Processing Technology*. 2007; 183(2-3): 273–276. Available from: doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.10.016.
85. Olekhnovich R.O., Sitnikova V.E., Chereneva S.V., Volkova K.V. Belukhichev E.V. *Study of the kinetics of thermal degradation of polymer composites based on polyvinylchloride film and biopolymer filler*. In: International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, Sofia, 2018; 18(4.1). Available from: doi: 10.5593/sgem2018/4.1/S17.084.
86. Piergiovanni L., Limbo S. *Plastic Packaging Materials*.In: Food Packaging Materials. Springer Briefs in Molecular Science. Springer, Cham. 2020. Available from: doi: 10.1007/978-3-319-24732-8_5.
87. Лирова Б.И. и др. Влияние природы пластификаторов на свойства пленочного материала на основе ВВХ // Прикладная химия. – 2007. – Т. 77, № 10. – С. 1707–1713.
88. Лирова Б.И. и др. Изучение процесса миграции из пластифицированных композиций на основе ПВХ // Прикладная химия. – 2006. – Т. 79, № 6. – С. 1017–1027.
89. Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Гатиятуллина Д.Р., Арсланов В.Р., Гилемьянов Д.А., Мазитова А.К. Синтез и свойства сложных эфиров адипиновой кислоты // Башхимжурнал. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 33–36.
90. Мазитова А.К., Вихарева И.Н., Аминова Г.К., Савичева Ю.Н., Гареева Н.Б., Шайхуллин И.Р. Влияние нанодобавок при получении экологичных полиэфирных пластификаторов // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 1. – С. 21–26. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-21-26.
91. Мазитова А.К., Вихарева И.Н., Маскова А.Р., Гареева Н.Б., Шайхуллин И.Р. Влияние добавок на биодеградацию ПВХ-материалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 2. – С. 94–99. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-94-99.
92. Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Aminova G.K., Savicheva Yu.N. Application of Zinc Oxide to Obtain and Modify Properties of Adipate Plasticizer of Polyvinyl Chloride.*Polymers*. 2020; 12(8): 1728.
93. Berruezo M., Ludueña L.N., Rodriguez E., Alvarez V.A. Preparation and characterization of polystyrene / starch blends for packaging applications.*Journal of plastic films and sheeting*. 2015; 30(2): 141–161.
94. Pushpadass H.A., Weber R.W., Dumais J.J. Biodegradation characteristics of starch – polystyrene loose-fill foams in a composting medium. *Bioresource technology*. 2010; 101(19): 7258–7264.
95. Utracki L.A., Shi G.Z., Rodrigue D., Gonzalez-Núñez R. *Compounding Polymer Blends, Polymer Blends Handbook*. 2014. p. 919–1028. Available from: doi: 10.1007/978-94-007-6064-6.
96. Favis B.D. Polymer alloys and blends: Recent advances.*The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2009; 619–625. Available from: doi: 10.1002/cjce.5450690303.
97. Okamoto M., Inoue T. Reactive processing of polymer blends: Analysis of the change in morphological and interfacial parameters with processing. *Polymer Engineering & Science*. 2004; 175–182. Available from: doi: 10.1002/pen.760330308.
98. Inoue T. *Morphology of Polymer Blends, Polymer Blends Handbook*. 2003. p. 547–576. Available from: doi: 10.1007/0-306-48244-4.

99. Brown S.B. *Reactive Compatibilization of Polymer Blends, Polymer Blends Handbook*. 2003. p. 339–415. Available from: doi: 10.1007/0-306-48244-4.

100. Wang R., Wang W. Synergistic effect of dual rubber system in toughening styrene maleic anhydride copolymers.*Journal of Applied Polymer Science*. 2003; 2260–2267. Available from: doi: 10.1002/app.12896.

101. Yang Li-Ying, Bigio D., Smith T.G., Melt blending of linear low-density polyethylene and polystyrene in a Haake internal mixer. II. Morphology-processing relationships. *Journal of Applied Polymer Science.* 2003; 129–141. Available from: doi: 10.1002/app.1995.070580114.

102. Maharanaa T., Mohantyb B., Negi Y.S. Melt-solid polycondensation of lactic acid and its biodegradability // Progress in Polymer Science. 2008, V. 34: 99–124 p.

103. Garlotta D. A literature review of poly (lactic acid). *J. Polym Environ*. 2001: 63–84.

104. Kamluk A.N., Likhamanau A.O. Experimental determination of the rational geometrical parameters of the sprinkler frame arms and deflector on the expansion rate and stability of foam. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series. 2019; 64(1): 60–68. Available from: doi: 10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68.

105. Белов Д. Биоразлагаемый полимер полилактид // Наука и инновации. – 2013. – № 9. – С. 21–23.

106. Фомин В.А. Состояние и направления развития работ по получению биоразлагаемых полимеров из молочной кислоты // Пластические массы. – 2012. – № 3. – С. 56–64.

107. Ayyoob M., Lee S., Kim Y.J. Well-defined high molecular weight polyglycolide-b-poly (L-) lactide-b-polyglycolide triblock copolymers: synthesis, characterization and microstructural analysis. *J. Polym Res*. 2020; 27: 109. Available from: doi: 10.1007/s10965-019-2001-4.

108. Cameron R.E., Kamvari M. A Synthetic bioresorbable polymers. In: *Durability and reliability of medical polymer*. Woodhead Publishing; 2020. p. 96–118.

109. Dobrzynski P., Kasperczyk J., Janeczek H., Bero M. Synthesis of biodegradable glycolide/l-lactide copolymers using iron compounds as initiators. *Polymer (Guildf)*. 2002; 43: 2595–2601. Available from: doi: 10.1016/S0032-3861(02)00079-4.

110. Gorrasi G., Meduri A., Rizzarelli P. et al. Preparation of poly(glycolide-co-lactide)s through a green process: analysis of structural, thermal, and barrier properties. *React & Funct Polym*. 2016; 109: 70–78. Available from: doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2016.10.002.

111. Ramdhanie L.I., Aubuchon S.R., Boland E.D. et al. Thermal and mechanical characterization of electrospun blends of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). *Polym J*. 2006; 38: 1137–1145. Available from: doi: 10.1295/polymj.PJ2006062.

Статья «Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть I» опубликована в журнале «Нанотехнологии в строительстве» № 6/2020. Статья «Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II» опубликована в журнале «Нанотехнологии в строительстве» № 1/2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазитова Алия Карамовна, доктор химических наук, профессор, заведующий каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2304-1692, e-mail: elenaasf@yandex.ru

Аминова Гулия Карамовна, доктор технических наук, профессор каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, e-mail: aminovagk@inbox.ru

Буйлова Евгения Андреевна, кандидат химических наук, доцент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, e-mail: evg-builova@yandex.ru

Зарипов Ильназ Ильгизович, аспирант каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2051-831X, e-mail: ilnaz.zaripov1996@mail.ru

Вихарева Ирина Николаевна, ассистент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5681-2767, e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 15.10.2020.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.11.2020.
Статья принята к публикации: 29.11.2020.

Nanotechnologies in construction
Нанотехнологии в строительстве
2021; 13 (2): 79–89

Nanobuild.ru

REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89
Article type: Review article

CC BY

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

L.A. Ivanov[1]*, L.D. Xu[2], Zh.V. Pisarenko[3], Q. Wang[4], P.S. Prokopiev[5]

[1] Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia
[2] Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA
[3] Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia
[4] China University of Petroleum, Qingdao, China
[5] Financial University Under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

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

ABSTRACT: The article provides an abstract review of patents. The results of creative activity of scientists, engineers and specialists, including inventions in the field of nanotechnology and nanomaterials, being implemented, allow achieving a significant effect in construction, housing and community services, and related sectors of the economy. For example, the invention «Method for liquid-phase synthesis of nanostructured ceramic material in the CeO_2–Sm_2O_3 system to create a solid oxide fuel cell» can contribute to the active development of alternative, hydrogen energy. Fuel cells have a wide range of applications – from batteries in portable electronic devices to large-scale power generation and autonomous use (for example, in remote areas). Power plants based on fuel cells are almost twice as economical as traditional ones. Their efficiency can reach 85%, and the amount of harmful emissions is almost 100 times lower due to the lack of direct chemical contact of the fuel with the oxidizer.
The specialists can also be interested in the following inventions in the area of nanotechnologies: method of increasing the tensile strength of fiber composites by means of preliminary modification of carbon fibers with carbon nanotubes and molecules containing amino groups; preparation method of pure silver nanowires; towards safe and sustainable innovation in nanotechnology; method of distribution of carbon-based nanoparticles in the production of nanocomposite unidirectional thermoplastic tapes; device for reducing the impact of vibration and shock effects on the performance of technological equipment; high-density three-dimensional electrically conductive micro- and mesoporous material based on carbon nanotubes and / or low-layer graphenes and a method for its preparation; nanotechnology as a viable alternative for the removal of antimicrobial resistance determinants from discharged municipal effluents and associated watersheds; and others.

KEYWORDS: nanotechnologies in construction, nanoparticles, carbon nanotubes, nanocomposites, nanostructured materials, nanostructured coatings.

FOR CITATION: Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 79–89. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89.

INTRODUCTION

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

MAIN PART

A method for increasing the tensile strength of fibrous composites by means of preliminary modification of carbon fibers with carbon nanotubes and molecules containing amino groups (RU 2743566 C1)

The technical objective of the invention is to increase the mechanical strength of the composite by forming

© Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S., 2021

a network of carbon nanotubes on the surface of carbon fiber. To increase the mechanical strength of the formed composite, a hardener is also added to the solution of carbon nanotubes, which, due to interaction with the amino groups present in the hardener, can chemically interact with epoxy groups in the epoxy resin – a binder, which ultimately leads to an increase in the strength of the entire composite [1].

The technical result is the development of a method for forming a network of carbon nanotubes bonded with carbon fiber and surrounded by molecules of the hardener, chemically interacting with the molecules of the binder. In this case, an improvement in the binding of epoxy groups to carbon fiber is achieved by improving the wettability of carbon fiber with resin during the treatment, due to the selection of effective solvents included in the composition of solutions applied to the surface of carbon fibers.

The concentration of CNT's in the dispersion was selected based on the need to cover the carbon fiber surface with a grid of misoriented CNT's, while ensuring acceptable uniformity. An increase in the concentration of CNT's in the dispersion, higher than that proposed (250 μg/ml) in the invention, leads to an increase in the instability of the system as a whole (the formation of conglomerates and precipitation from the solution), and also leads to the complexity of application by aerosol, which leads to an inhomogeneous distribution of CNTs. on the surface of carbon fibers. The lower concentration limit (20 μg/ml) is defined as the minimum possible concentration for the formation of a CNT network by aerosol spraying, a decrease in concentration below 20 μg/ml leads to the formation of areas completely free of CNT's and is unjustifiable economically, due to the duration of the layer deposition for uniform formation of CNT grids, since at this concentration, almost nothing but solvent is applied.

Preparation method of pure silver nanowires (CN111922359B)

The invention aims to solve the problem that PVP coated on the surface of a silver wire is difficult to remove after the silver wire is prepared by a conventional polyol method, and the silver nanowire material with high transparency and good conductivity is obtained.

A preparation method of pure silver nanowires belongs to the field of silver nanomaterial preparation, and comprises the steps of firstly preparing a solution A (ethylene glycol solution of polydiene dimethyl ammonium chloride) with the concentration of 0.05–0.1 mol/L and a solution B (ethylene glycol solution of silver nitrate) with the concentration of 0.4 mol/L; then dropwise adding the equal volume of the solution B into the solution A under magnetic stirring, magnetically stirring the mixed solution at room temperature for 10–20 min, heating to 160–200°C, and reacting for 6–10 hours to obtain a product; cooling the product at room temperature, separating the product by using a centrifugal machine, washing the centrifuged product, and dispersing the washed product in ethanol; silver nanowires are prepared by using a novel coating agent polydiene dimethyl ammonium chloride, and a protective agent coated on the surfaces of the silver nanowires can be removed by washing, so that pure silver nanowires are prepared, and better conductivity and light transmittance are realized [2].

The principle of the invention is as follows: firstly, different previous protective agents of polydiene dimethyl ammonium chloride are used, wherein the polydiene dimethyl ammonium chloride can induce the growth of silver wires, has adsorption effect on specific crystal face (100) of the silver and can control the growth of the silver wires. The dissociated chloride ions and silver ions can generate silver chloride, so that the nucleation effect is achieved, the concentration of the silver ions in the reaction process can be controlled, the reaction rate is adjusted, and the growth of silver wires is facilitated. Most importantly, unlike the traditional strong adsorption of PVP on the silver wire, the polydiene dimethyl ammonium chloride coated on the surface of the silver wire can be removed by washing, and then the pure silver wire is prepared.

Compared with the prior art, the invention has the following beneficial technical effects: silver nanowires are prepared by using a novel coating agent polydiene dimethyl ammonium chloride, and a protective agent coated on the surfaces of the silver nanowires can be removed by washing, so that pure silver nanowires are prepared, and better conductivity and light transmittance are realized.

The invention is realized by the following technical scheme:

– step 1, respectively preparing a solution A, namely a glycol solution of polydiene dimethyl ammonium chloride with the concentration of 0.05–0.1 mol/L, and a solution B, namely a glycol solution of silver nitrate with the concentration of 0.4 mol/L;

– step 2, dropwise adding the solution B with the same volume into the solution A under magnetic stirring, magnetically stirring the mixed solution at room temperature for 10–20 min, heating to 160–200°C, and reacting for 6–10 hours to obtain a product;

– and 3, cooling the product at room temperature, separating the product by using a centrifugal machine, washing the centrifuged product, and dispersing the product in ethanol. Further, the molecular weight of the polydiene dimethyl ammonium chloride in the step 1 is 100 000–500 000, the silver nitrate is sieved by a 20–100 mesh sieve before the solution is prepared, and the ethylene glycol is anhydrous ethylene glycol.

Further, the solution B can be dissolved and prepared by ultrasonic, wherein the ultrasonic time is 3–5 min, and the ultrasonic frequency is 40 KHz.

Further, the solution A is mixed by magnetic stirring, and the stirring speed is 100–500 rpm.

Further, the speed of dripping the solution B in the step 2 is 1–3 mL/min, and the rotation speed of magnetic stirring is 350–600 rpm.

Further, the heating mode in step 2 is an oil bath preheated to a specified temperature, or an oven or other heating equipment.

Further, the reaction in step 2 is carried out under quiescent conditions.

Further, the rotation speed of the centrifuge in the step 3 is 10 000–20 000 rpm, and the centrifugation time is 3–10 min.

Further, the washing in step 3 is preferably performed by washing with an organic detergent for 1–4 times, such as acetone, ethanol, etc., and then washing with deionized water for 3 times.

Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology: State-of-play for smart nanomaterials

The European Green Deal, the European Commission's new Action Plan for a Circular Economy, the new European Industrial Strategy and the Chemicals Strategy for Sustainability launched in October 2020 are ambitious plans to achieve a sustainable, fair and inclusive European Union's economy. In line with the United Nations Sustainable Development Goals 2030, these policies require that any new material or product should be not only functional and cost-effective but also safe and sustainable to ensure compliance with regulation and acceptance by consumers [3].

Nanotechnology is one of the technologies that could enable such a green growth. This paper focuses on advanced nanomaterials that actively respond to external stimuli, also known as 'smart nanomaterials', and which are already on the market or in the research and development phase for non-medical applications such as in agriculture, food, food packaging and cosmetics. A review shows that smart nanomaterials and enabled products may present new challenges for safety and sustainability assessment due to their complexity and dynamic behavior. Moreover, existing regulatory frameworks, in particular in the European Union, are probably not fully prepared to address them. What is missing today is a systematic and comprehensive approach that allows for considering sustainability aspects hand in hand with safety considerations very early on at the material design stage. The authors call on innovators, scientists and authorities to further develop and promote the 'Safe- and Sustainable-by-Design' concept in nanotechnology and propose some initiatives to go into this direction.

Method of distribution of carbon-based nanoparticles in the production of nanocomposite unidirectional thermoplastic tapes (RU 2741945 C1)

The invention relates to the chemistry of polymers and can be used in the manufacture of products and structures for construction, mechanical engineering, aviation, astronautics, shipbuilding, as well as the oil and gas industry. First, the powder of a thermoplastic polymer, for example, polyethylene, polypropylene, polyamide, polyphenylene sulfide, polyimide, polyamideimide or polyetheretherketone, is mixed, up to 2 wt.% modifying particles based on carbon in the form of fullerene soot with an average particle size of 80 nm, and sodium lauryl sulfate as a surfactant. Then the prepared powder mixture is kneaded with water to obtain a slurry through which the roving is pulled. The roving material is selected so that its melting point is higher than that of the indicated polymers. The invention makes it possible to provide such a distribution of modifying particles based on carbon in the production of unidirectional thermoplastic tapes with increased strength and elasticity of products made from them [4]. A method for distributing carbon-based modifying particles in the production of unidirectional thermoplastic tapes, comprising pulling roving through an aqueous suspension containing a thermoplastic polymer and said carbon-based modifying particles, characterized in that first a semi-finished product is prepared containing a thermoplastic polymer powder, for example, polyethylene, polypropylene, polyamide , polyphenylene sulfide, polyimide, polyamidimide or polyetheretherketone, and up to 2 wt.% fullerene soot, the average particle size of which is 80 nm, in the presence of sodium lauryl sulfate as a surfactant, then the prepared powder mixture is mixed with water to obtain a suspension, and the roving material is selected on the condition that its melting point is higher than that of the indicated polymers.

Device for reducing the impact of vibration and shock effects on the performance of technological equipment (RU201829 U1)

The presented utility model relates to the devices for reducing the impact of vibration and shock effects, which could affect the performance of automatic controls for technological equipment during the operation of technological equipment while moving a vehicle [5].

The utility model is aimed at solving the technical problem of improving the reliability of technological equipment installed in closed-body trucks during transportation over rough terrain. Fig. 1 shows the conceptual basis of the utility model.

The basic idea of this technical solution is based on the fact that the equipment is fixed firmly and immobile on a special platform. It is rigidly connected to the vibra-

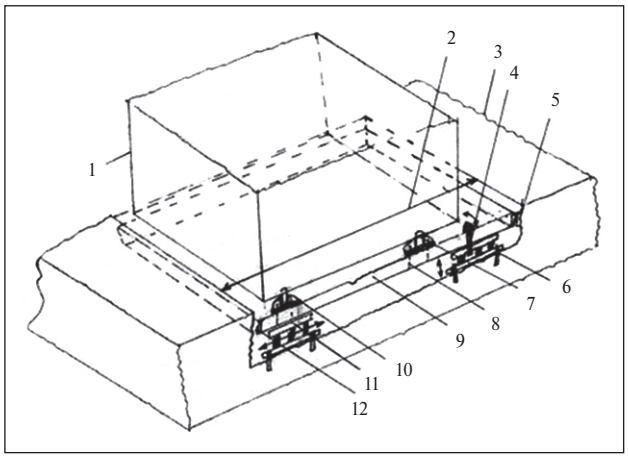


Fig. 1. **Device for reducing the impact of vibration and shock effects on the performance of technological equipment:** 1. Technological equipment. 2. Niche. 3. Floor. 4. Fixing device. 5. Retainer. 6. Holder. 7. Leg. 8. Bolt. 9. Platform. 10. Thrust-bearing. 11. Vibration isolator. 12. Bearer.

tion isolator, which provides vibration and shock suppression.

Operation of the "Device for reducing the impact of vibration and shock effects on the performance of technological equipment". When the base chassis moves over the rough terrain (not shown in the figure), sharp oscillatory movements can occur, the effect of which on the automation of technological equipment (see Fig. 1, number 1) is reduced due to the operational properties of the vibration isolator (see Fig. 1, number 11), which provides stability during prolonged static and dynamic load. The presence of rigidly fixed support bearer (number 12) on a platform fix end (number 9) and on the end wall of the niche (number 2) of the retainer (number 5) provides additional protection to the equipment (number 1) from vibration and shock effects.

The technical task is solved due to the fact that the «Device for reducing the impact of vibration and shock effects on the performance of technological equipment» is characterized (1) in that a niche is built in the floor, to which a vibration isolator (item brand SP1180-03) is rigidly fixed by a holder, connected by a fastening device to a platform made of a polymer composite material, 30 mm thick, and (2) a support bearer is fixed rigidly along the perimeter of the platform, and (3) a 50 mm thick rubber (item brand TMKSH) retainer is rigidly attached to the wall of the niche.

Experimental studies conducted on the production base of LLC "Projectintertechnika" allowed authors to establish that placing a for example of washing machine on the proposed device increases the duration of its working capacity by 1.35–1.4 times, reduces vibration and shock effects on automation by 1.35–1.51 times.

The proposed device has a novelty and significant differences from the prototype. It provides an increase in the reliability of the technological equipment installed inside the container body during transportation over rough terrain. The technical solution can be used in any closed-body trucks, inside which technological equipment is placed.

Application filed by Federal State Military Educational Institution of Higher Education "Military academy of material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev" of the Ministry of Defense of the Russian Federation.

High-density three-dimensional electrically conductive micro- and mesoporous material based on carbon nanotubes and / or low-layer graphenes and a method for its production (RU 2744163 C)

The group of inventions [6] relates to the field of obtaining materials – compacts based on multilayer carbon nanotubes (MCNT's) and / or low-layer graphite fragments (LGF), as well as metal and metal oxide nanoparticles that can be used in the production of composites for absorbing sounds and electromagnetic radiation, carriers of biologically active objects, catalysts and sorbents, elements with controlled resistance, magnetic composites, etc., which can be used in nanoelectronics, energy, aerospace, engineering and construction industries, etc.

The technical result is to obtain compacts based on MCNT and / or UTP, characterized by the mechanical strength and stability of the frame under ultrasonic influences with a power of more than 700 W on the diameter of the base of the emitter 10 mm, incl. in viscous media, the parameters of the dynamic viscosity of which are higher than 1 mPa at a temperature of 25°C.

In one embodiment of the invention, the presence of metal inclusions in the composition of the compacted product provides carbonization of MCNTs and UGFs with several structured carbon shells, which further strengthens the framework structure and makes the particles stable during catalytic tests.

The compactizate may additionally contain metal nanoparticles ranging in size from 4 to 100 nm, covered with a carbon shell, placed in the nodes of the framework (in the places where nanotubes / MGF are crosslinked) up to 30% by weight of the compactisate weight. As a rule, carbon shells of nanoparticles have a thickness of 2–8 graphene layers (from 8 to 12 nm).

Nanotechnology as a viable alternative for the removal of antimicrobial resistance determinants from discharged municipal effluents and associated watersheds: A review

Antibiotic resistance (AR) remains a serious challenge causing global outcry in both the clinical setting

and the environment. The huge influence of municipal wastewater effluent discharges on the aquatic environment has made the niche a hotspot of research interest in the study of emergence and spread of AMR microbes and their resistance determinants/genes. The current review adopted a holistic approach in studying the proliferation of antibiotic resistance determinants (ARDs) as well as their impacts and fate in municipal wastewater effluents and the receiving aquatic environments. The various strategies deployed hitherto for the removal of resistance determinants in municipal effluents were carefully reviewed, while the potential for the use of nanotechnology as a viable alternative is explicitly explored [7].

The following conclusions are made from this review: 1. The incidence of antibiotic resistance genes in treated wastewater are now consistently reported in various parts of the world even though there is no sufficient data on the fate and abundance of ARGs in WWTPs. 2. Several strategies have been employed for the removal of these genes from wastewater with little or no progress. 3. The consideration of the influence of operating conditions such as pH, temperature, COD, BOD, chlorine availability, dosage of adsorbent, water flow, removal mechanism and genetic conjugation, transformation and transduction, mutation and selection in the treatment of wastewater in plants is important. 4. The use of nanotechnology as a tool to eliminate ARGs by designing materials that will effectively remove nucleic acids from water should be further explored. 5. Since the surface of nucleic acids is negatively charged, the development of a nanoparticle with positive surface charge, will effectively remove this substance from wastewater by electrostatic interaction.

Method of obtaining multilayer wear-resistant diamond-like coatings (RU 2740591 C1)

The invention relates to the field of obtaining superhard wear-resistant coatings in a single vacuum cycle with predetermined properties, specifically to the technology of forming a multilayer diamond-like coating, and can be used in heavy and light industry, transport to improve the performance of products and increase their service life, parts of friction units , precision engineering parts. It is known that the main reason for the wear of heavily loaded friction units (gear and spline gears) is the appearance of cracks in its contacting part, which are the cause of the appearance of chips and chipping associated with fatigue failure and the phenomenon of fretting. One of the ways to increase the durability and performance of coated spline joints is the application of multilayer coatings. The presence in the coating of layers with certain thermophysical and mechanical properties can inhibit the formation and propagation of cracks without reducing microhardness, improve the thermally stressed state of the coated splines and increase wear resistance. It should also be noted that during friction at high speeds and vibrations, the processes of fretting-oxidative wear are intensified, contributing to the softening of the coating and base material [8].

The technical result of the invention is to improve the quality of diamond-like films by changing their structure and composition, obtaining the lower layer with high adhesion to the substrate material, the middle layer with high hardness and increased wear resistance, and the upper layer with good thermal conductivity and heat resistance and a low coefficient of friction. Preliminarily, the products are cleaned by electro-pulse polishing in an aqueous solution of ammonium salts, followed by ultrasonic treatment of the product. After that, the product is moved to a vacuum chamber and treated with argon ions and nitriding in a mixture of gases. Then, by the magnetron method, surface deposition of alloying elements with a thickness of 0.2 μm from an Nb-Hf alloy is carried out on the surface of the article. After that, a composite metal-carbon layer is applied with alternating layers, while first a gradient Cr coating is applied with a linear change in parameters during the application from the initial value to the final value for 90 s, and then the next layer of the Al–Si gradient coating is applied. Thereafter, a diamond-like coating is applied with a low-energy ion source.

Development of Nanotechnology in the World and Nanotechnology Standards in Turkey

The aim of this study is to examine the development of nanotechnology in the world and present the evaluations of experts on the nanotechnology standards in Turkey. This paper focuses on in-depth interviewing that involves asking informants open-ended questions, and obtain data deemed useful by the researchers. Ten authorities in nanotechnology institutions such as Turkish Standards Institute, Nanotem, Economy Ministry, and universities were interviewed and their opinions were given. Turkey needs to overcome some issues on nanotechnology. Some of them include the lack of health and environment standards of nanotechnology, the lack of legal arrangements, problems with nanotechnology products and commercialization, the lack of a unity providing coordination between sectors in nanotechnology, the lack of an arrangement about using of nanotechnology. There are international nanotechnology standards but there is not health and environment standards in Turkey [9].

While regulations on standards are important for the application of nanotechnology, they are also necessary for the production and marketing of products. It also plays an important role in public information and awareness. In the first stage of the establishment of the standards, recommendations should be made by the academic parties such as research institution, government agency. Reasonable recommendations should be received and

evaluated by a government agency. The result of the evaluation should be enacted and implemented by the relevant institution.

Wear-resistant and yellowing-resistant decorative material and preparation method thereof (CN111923540B)

The invention discloses a wear-resistant yellowing-resistant decorative material and a preparation method thereof. The decorative material comprises decorative paper and a coating which permeates into the interior of the decorative paper and is cured, wherein the coating comprises at least one of acrylic epoxy ester, acrylic novolac epoxy ester, polyurethane acrylate oligomer, polyester acrylate and an active monomer, the coating also comprises modified nano titanium dioxide, and the surface of the modified nano titanium dioxide is coated with quaternary ammonium salt chitosan and sulfonated lignin, so that the wear resistance, the light color fastness and the yellowing resistance of the decorative material can be effectively improved [10].

The wear-resistant and yellowing-resistant decorative materials prepared in examples 1 to 9 and comparative examples 1 to 3 have good flexibility, and the surfaces of the materials are not cracked after the materials are bent and subjected to conventional flat pasting, coating and modeling pasting treatment.

In addition, the above embodiment can adjust the oligomer type, monomer type, plastic film type and related process parameters in the related coating according to the actual performance requirements, for example, the inventor finds that the viscosity of the coating is 5–200 cps, and the coating amount is 20–100 g/m^2 after curing. The toughness of the wear-resistant and yellowing-resistant decorative material is improved, the bonding strength of the decorative paper and the plastic film is improved, and the decorative paper and the plastic film are prevented from being peeled off; the electron beam curing dosage is 5–50 kGy, the running speed of the wear-resistant and yellowing-resistant decorative material during curing is 10–200 m/min, and the cured wear-resistant and yellowing-resistant decorative material has good toughness.

According to actual needs, a required pattern can be printed on the wear-resistant and yellowing-resistant decorative material prepared in the embodiment, so that the wear-resistant and yellowing-resistant decorative material has various wood grains or patterns.

Finally, it should be noted that the above embodiments are only used for illustrating the technical solutions of the present invention and not for limiting the protection scope of the present invention, and although the present invention is described in detail with reference to the preferred embodiments, it should be understood by those skilled in the art that modifications or equivalent substitutions can be made on the technical solutions of the present invention without departing from the spirit and scope of the technical solutions of the present invention.

Application filed by: 广东天安高分子科技有限公司 (Guangdong Tianan Polymer Technology Co., Ltd).

Method for liquid-phase synthesis of nanostructured ceramic material in the CeO_2–Sm_2O_3 system to create an electrolyte for a solid oxide fuel cell (RU 2741920 C1)

Currently, the demand for energy resources is increasing, while fossil fuels are gradually depleted, and the environmental situation in the world is deteriorating. In this regard, the alternative, hydrogen energy is actively developing [11]. For its further development, it is necessary to search for and create modern materials for electrochemical energy generators. Solid oxide fuel cells (SOFCs) are promising among them.

Fuel cells have a wide range of applications - from batteries in portable electronic devices to large-scale power generation and autonomous use (for example, in remote areas). Power plants based on fuel cells are almost twice as economical as traditional ones. Their efficiency can reach 85%, and the amount of harmful emissions is almost 100 times lower due to the absence of direct chemical contact of the fuel with the oxidizer.

Solid oxide fuel cells (SOFCs) are attractive electrochemical generators that efficiently convert the chemical energy of the interaction of hydrogen with oxygen into electrical energy with minimal impact on the environment. On the basis of such elements, pilot plants with a capacity of up to 100 kW were created. SOFCs are mainly applicable for power plants of high power, in which it is possible to minimize the relative share of heat losses into the surrounding space. One of the main advantages of this type of fuel cell is the absence of a liquid electrolyte and the possibility of creating a miniature unit cell consisting of thin layers of electrodes and electrolyte.

The method is carried out by choosing cerium nitrate salts Ce $(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ and samarium Sm $(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ as starting reagents, from which solutions with a concentration of ~0.5 M. evaporated in a water bath for 3 hours until a supersaturated solution is formed, which is cooled at a temperature of 3–5°C, after which the crystalline hydrate is subjected to ultrasonic treatment for 30 minutes. The synthesized powder of the solid solution is subjected to heat treatment at 600°C, then compacts are formed by the method of uniaxial cold pressing at a pressure of 150 MPa, which are fired at a temperature of 1300°C in a tube furnace with isothermal holding for 2 hours and a heating rate of 350–400°/h. The technical result is the development of a promising technology for liquid-phase synthesis of ceramics for obtaining a solid electrolyte based on cerium dioxide for solid oxide fuel cells.

Super-hydrophobic anti-icing aircraft aluminum alloy skin (CN212243774U)

The surface of the skin consists of a multi-stage micro-nano structure, the micro-nano structure is based on a three-dimensional micro-cone structure periodically distributed on the surface of an aluminum alloy substrate, and nano sheets densely growing and nano flower clusters consisting of the nano sheets are distributed on the surface of the micro-cone; and one or two of submicron spheres and submicron popcorn are dispersed and distributed on the surface of the micrometer cone or between the micrometer cone and the micrometer cone.

Through the utility model discloses an aviation aluminum alloy covering surface that sets up has extremely low ice adhesion, and ice and adhesion strength between the surface can be low to 6 kPa, and ice can drop by oneself under its self action of gravity or under the slight vibrations condition. The skin can be widely applied to the anti-icing field of aviation key components, ships, ground transportation tools, refrigerators, air conditioners and the like [12].

Specific examples are set forth below to provide a better understanding of the present invention.

Example 1.

The utility model discloses a micro-nano structure of super-hydrophobic anti-icing aviation aluminum alloy skin with ultra-low ice adhesion, which is shown in Fig. 2, and the surface is composed of a complex micro-nano tertiary structure which is periodically distributed, wherein the nano structure is a two-dimensional nano sheet structure and densely grows on the surface of a three-dimensional micrometer cone.

The submicron sphere structure is formed by stacking and growing nano sheets, the diameter of the submicron sphere structure is about 500 nm, the submicron sphere structure is dispersedly distributed on a micron cone, and the whole three-dimensional three-level complex micro-nano structure has the structural characteristic of integrated interconnection. After surface chemical modification, the surface may exhibit a water drop contact angle of about 160°. The ice adhesion strength of the skin surface was only 6 kPa, which was reduced by a factor of 40 compared to the untreated aluminum alloy skin surface (240 kPa), as shown in Fig. 3.

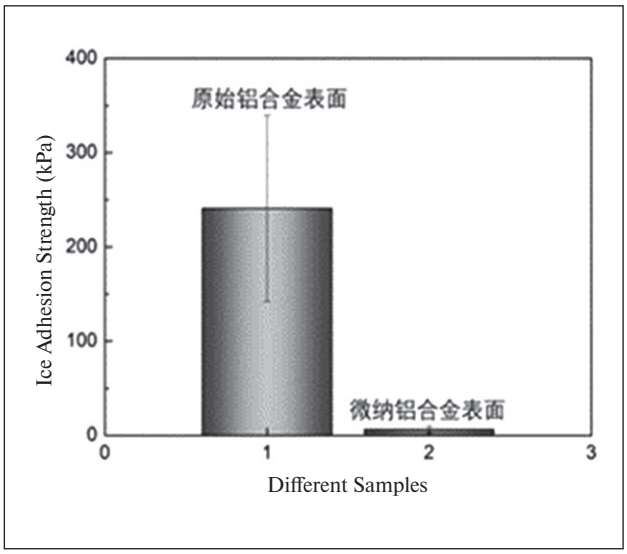


Fig. 3. **Shows a comparison of ice adhesion strength of a conventional aluminum alloy skin and an aluminum alloy skin of example 1 of the present invention**

Furthermore, the ice adhesion strength of the skin surface was still not higher than 20 kPa after 10 push ice tests, indicating that the surface had better mechanical durability.

Application filed by: 清华大学 (Tsinghua University).

Nanotechnology activities: environmental protection regulatory issues data

Despite the significant increase in the use of nanomaterials, little has been discussed about the possible toxic effects for the environment and human health. The same characteristics that make nanoparticles interesting

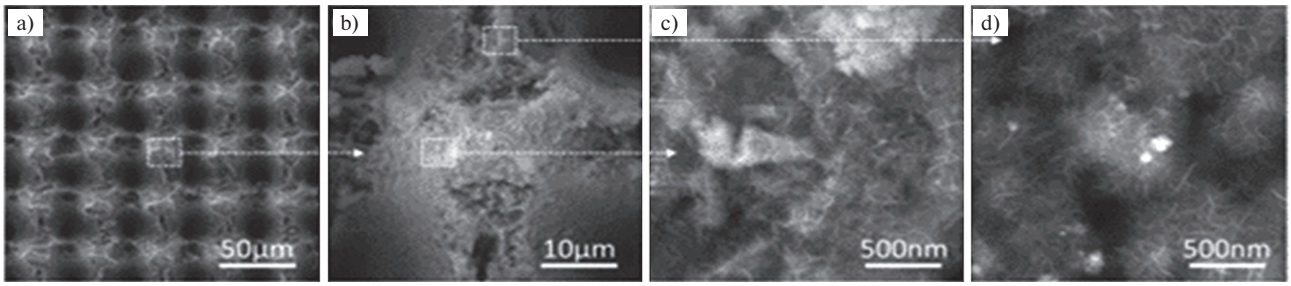


Fig. 2. **Is a scanning electron microscope photograph of a multi-stage micro-nano structure of a super-hydrophobic anti-icing aircraft aluminum alloy skin with ultra-low ice adhesion in example 1 of the present invention**

from the point of view of technological application, may be undesirable when they are released to the environment, given the intrinsic characteristics of nanoparticles, such as size, surface area and agglomeration/dispersion capacity, which can facilitate the translocation of these by the environmental compartments and cause, in a cumulative way, damages to the food chain. Experimental studies carried out so far have indicated that several types of nanoparticles may have adverse effects on the embryonic development of invertebrates such as sea urchins, oysters and freshwater snails; of non-mammalian vertebrates (fish and frogs) and of mammals – rats and mice. In view of the nanotechnology scenario, it is essential to adopt specific regulations that ensure the protection of the environment, so that we can benefit from the innovation that nanotechnology brings us without harming the planet [13].

This research provides a contextualization of environmental protection regulatory issues related to nanomaterials with respect to scientific research. Although numerous studies have already identified the negative impacts on the environment that nanoparticles can cause, the results show that studies related to the toxicity and use of nanomaterials were mostly directed towards studies aimed at human protection. A paradigm shift was noted. From 2003 to 2011, the focus of studies related to nanomaterials was focused on laws and regulations. In the period from 2012 to 2020, studies focused on the risk assessment of nanomaterials, including in the regulatory sphere.

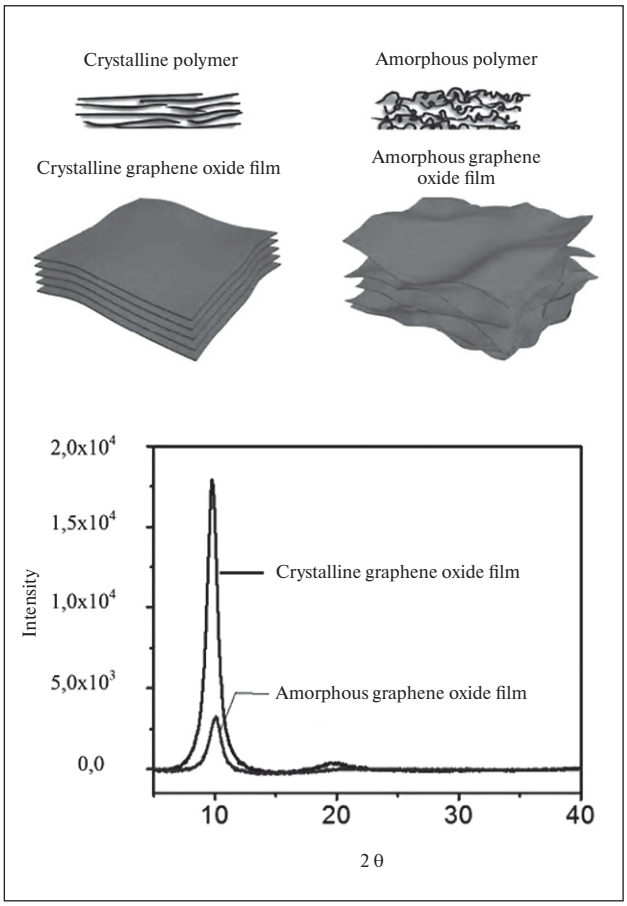


Fig. 4. **Proportionally depicts a crystalline graphene oxide film, an amorphous graphene oxide film, a crystalline polymer, and an amorphous polymer**

Flexible graphene film and method for its manufacture (RU 2742409 C1)

The invention relates to nanotechnology and can be used in the manufacture of electrothermal materials with high mechanical properties and low density for flexible electronic devices [14]. Graphene oxide or graphene is dispersed in a strong solvent. The resulting solution of graphene or graphene oxide is cast and a corresponding liquid film with a thickness of 0.5 to 30 mm is obtained, which is immersed in a weak solvent. After gelation, the film is dried at 50–100°C in an oven or in a suspended state for 5–24 hours to obtain a flexible graphene or graphene oxide film. Concentration of graphene oxide solution 5–20 mg/ml, graphene solution 5–40 mg/ml. A liquid film of graphene oxide is immersed in a weak solvent for 2–24 hours, and a liquid film of graphene for 1–24 hours. N, N-dimethylformamide, water, N-methylpyrrolidone, acetone, dimethylsulfoxide, pyridine, dioxane are used as a strong solvent. N, N-dimethylacetamide, tetrahydrofuran, or ethylene glycol. Ethyl acetate, dichloromethane, alkanes, methanol, ethanol, n-butanol, ethylene glycol, propylene glycol, glycerin, isobutanol, methyl acetate, butyl acetate or acetic acid are used as a weak solvent. After drying, a flexible graphene film is reduced by chemical, thermal, or electrolytic methods. The resulting flexible films have a degree of crystallization below 60% and consist of multiple folded sheets of graphene oxide or graphene superimposed on each other. The invention makes it possible to increase the flexibility of macroscopic graphene films in a simple and technological way without the use of substrates.

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

- Innovative technology of municipal wastewater treatment for rapid sludge sedimentation and enhancing pollutants removal with nano-material [15].
- A method of obtaining a wear-resistant nanostructured coating [16].
- Ferroelectric nanocomposite material based on porous glass and materials of the potassium dihydrogen phosphate group [17].

- Preparation method of nanometric size metal oxide additives that reduce the temperature of sintering and/or increase productivity in the manufacture of ceramic parts, improving mechanical properties without affecting the vitrification properties of ceramic bodies, tiles or coatings [18].
- Method for producing yttrium-aluminum garnet nanopowder [19].
- A method of obtaining polymetallic nanopowders [20].
- Experimental assessment of cement mortar using nano oxide compounds [21].
- A method for producing graphene-containing suspensions and a device for its implementation [22].
- Method for removing residual solvent from layers based on carbon nanotubes [23].
- Bubble electrospinning device [24].
- A method for modifying the surface of inorganic nanoparticles – bivalent metal oxides used to assess the toxic effect [25].
- A method for obtaining stabilized linear carbon chains in a liquid [26].
- Nanoscale digital logic element [27].

CONCLUSION

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

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

REFERENCES

1. Nelyub V.A., Orlov M.A., Kalinnikov A.N. et al. *A method of increasing the tensile strength of fibrous composites by means of preliminary modification of carbon fibers with carbon nanotubes and molecules containing amino groups.* Russian Federation Patent 2743566. 2021-02-19.

2. Preparation method of pure silver nanowires. Patent CN111922359B. 2020-10-19. Available from: https://patents.google.com/patent/CN111922359B/en?q=Nanomaterials&country=CN,RU&before=priority:20201231&after=priority:20200101&status=GRANT&type=PATENT&sort=new

3. Gottardo S., Mech A., Drbohlavova J., Malyska A., Bøwadt S., Sintes J. R., Rauscher H. Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology: State-of-play for smart nanomaterials. *NanoImpact*. 2021;100297.

4. Bobrynina E.V., Vasilyeva E.S., Goncharenko D. et al. *Method of distribution of carbon-based nanoparticles in the production of nanocomposite unidirectional thermoplastic tapes* Russian Federation Patent 2741945.2021-01-29.

5.Romanchikov S.A., Polpenyuk I.D. et al. Device for reducing the impact of vibration and shock effects on the performance of technological equipment.2020-10-06. Available from: https://patents.google.com/patent/RU201829U1/ru?q=Nanomaterials&country=CN,RU&before=priority:20201231&after=priority:20200101&status=GRANT&type=PATENT&sort=new&page=2

6. Savilov S.V., Suslova E.V., Chernyak S.A. et al. *Method for modifying the surface of inorganic nanoparticles – bivalent metal oxides used to assess the toxic effect*. Russian Federation Patent 2744126.2021-02-03.

7. Ojemaye M.O., Adefisoye M. A., Okoh A.I. Nanotechnology as a viable alternative for the removal of antimicrobial resistance determinants from discharged municipal effluents and associated watersheds: A review. *Journal of Environmental Management*. 2020;275:111234.

8. Kolesnikov V.I., Sychev A.P., Kolesnikov I.V. et al. *The method of obtaining multilayer wear-resistant diamond-like coatings.* Russian Federation Patent 2740591.2021-01-15.

9. Calipinar H., Ulas D. Development of Nanotechnology in the World and Nanotechnology Standards in Turkey. *Procedia Computer Science*. 2019; 158:1011–1018.

10. Wear-resistant and yellowing-resistant decorative material and preparation method thereof. Patent CN111923540B. 2020-10-13. Available from: https://patents.google.com/patent/CN111923540B/en?oq=CN111923540B

11. Kalinina M.V., Fedorenko N.Yu., Dyuskina D.A., Shilova O.A. *The method of liquid-phase synthesis of nanostructured ceramic material in the CeO_2–Sm_2O_3 system to create an electrolyte of a solid oxide fuel cell.* Russian Federation Patent 2741920. 2021-01-29.

12. *Super-hydrophobic anti-icing aircraft aluminum alloy skin*. Patent CN212243774U. 2020-08-04. Available from: https://patents.google.com/patent/CN212243774U/en?q=nanomaterial&q=construction&country=CN,RU,FI&before=priority:20201231&after=priority:20200101&status=GRANT&type=PATENT&sort=new&page=4

13. Almeida L., Felzenszwalb I., Marques M., Cruz C. Nanotechnology activities: environmental protection regulatory issues data. *Heliyon*. 2020; 6(10):e05303.

14. Gao Chao, Xu Zhen, Xiao Yuhua. *Flexible graphene film and a method for its production*. Russian Federation Patent 2742409. 2021-02-05.

15. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part I. *Nanotechnologies in Construction*.2021;13(1):23–31.Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31.

16. Balaev E.Yu.O., Buzko V.Yu., Goryachko A.I. et al. *A method of obtaining a wear-resistant nanostructured coating*. Russian Federation Patent 2742751. 2021-02-10.

17. Tarnavich V.V., Sidorkin A.S., Korotkova T.N. et al. *Ferroelectric nanocomposite material based on porous glass and materials of the potassium dihydrogen phosphate group*. Russian Federation Patent 2740563.2021-01-15.

18. Ivanov L.A., Ishkov A.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part IV. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(5):275–284. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284.

19. Abiev R.Sh., Zdravkov A.V., Kudryashova Yu.S. *A method of obtaining nanopowder of yttrium-aluminum garnet*. Russian Federation Patent 2741733. 2021-01-28.

20. Spiridonov N.I., Sleptsov A.V., Seliverstov V.K. et al. *A method of obtaining polymetallic nanopowders*. Russian Federation Patent 2742634. 2021-02-09.

21. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R. Nanotechnologies: are view of inventions and utility models. Part V. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(6): 331–338. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338.

22. Pershin V.F., Alkhilo Z.A., Baranov A.A. et al. *Method for producing graphene-containing suspensions and a device for its implementation*. Russian Federation Patent 2743523. 2021-02-19.

23. Nelyub V.A., Kalinnikov A.N., Borodulin A.S. et al. *Method for removing residual solvent from layers based on carbon nanotubes*. Russian Federation Patent 2743559. 2021-02-19.

24. Ivanov LA., Demenev A.V., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part III. *Nanotechnologies in Construction*.2020;12(3):140–146. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146.

25. Ignatova A.M., Ignatov M.N., Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A. *Method for modifying the surface of inorganic nanoparticles – bivalent metal oxides used to assess the toxic effect*. Russian Federation Patent 2744126. 2021-03-02.

26. Kutrovskaya S.V., Kucherik A.O., Skryabin I.O. et al. *A method for obtaining stabilized linear carbon chains in a liquid*. Russian Federation Patent 2744089. 2021-03-02.

27. Gurovich B.A., Prikhodko K.E., Kuleshova E.A., Kutuzov L.V. *Nanoscale digital logic element*. Russian Federation Patent 2744160. 2021-03-03.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

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

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

Petr S. Prokopiev, Financial University Under the Government of the Russian Federation, Student International Economic Relations Faculty, Moscow, Russia,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6305-4135, e-mail: prokopiev2012@gmail.com

All authors declare the absence of any competing interests.

Received: 05.03.2021.
Revised: 29.03.2021.
Accepted: 02.04.2021.

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89
УДК 608; 69.001.5
Тип статьи: Обзорная статья

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

Л.А. Иванов[1]*, Л.Д. Сюй[2], Ж.В. Писаренко[3], Ц.Ванг[4], П.С. Прокопьев[5]

[1] Российская инженерная академия, г. Москва, Россия
[2] Университет Олд Доминион, г. Норфолк, Вирджиния, США
[3] Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
[4] Китайский нефтяной университет, г. Циндао, Китай
[5] Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия

***Контакты:** e-mail: L.a.ivanov@mail.ru

РЕЗЮМЕ: В статье проводится в реферативной форме обзор изобретений. Результаты творческой деятельности ученых, инженеров и специалистов, в т.ч. и изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов позволяют при их внедрении добиться значительного эффекта в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, смежных отраслях экономики. Например, изобретение «Способ жидкофазного синтеза наноструктурированного керамического материала в системе CeO_2–Sm_2O_3 для создания электролита твердооксидного топливного элемента» может способствовать активному развитию альтернативной, водородной энергетике. Топливные элементы имеют огромную область применения – от аккумуляторов в портативных электронных устройствах до крупномасштабного производства электроэнергии и автономного ее использования (например, в удаленных районах). Энергоустановки на основе топливных элементов экономичнее традиционных почти в два раза. Их КПД может достигать 85%, а количество вредных выбросов почти в 100 раз ниже из-за отсутствия непосредственного химического контакта топлива с окислителем.
Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: способ повышения прочности на разрыв волокнистых композитов с помощью предварительной модификации углеволокон углеродными нанотрубками и молекулами, содержащими аминогруппы; пути к безопасным и устойчивым инновациям в нанотехнологиях; способ получения нанопроволоки из чистого серебра; способ распределения наночастиц на основе углерода, при производстве нанокомпозиционных однонаправленных термопластичных лент; устройство для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий на работоспособность технологического оборудования; высокоплотный трехмерный электропроводящий микро- и мезопористый материал на основе углеродных нанотрубок и/или малослойных графенов и способ его получения; нанотехнологии как жизнеспособная альтернатива для удаления детерминант устойчивости к противомикробным препаратам из сбрасываемых городских сточных вод и связанных с ними водосборов и др.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии в строительстве, наночастицы, углеродные нанотрубки, нанокомпозиты, наноструктурированные материалы, наноструктурированные покрытия.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 79–89. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие технологии поражают воображение людей, демонстрируя все новые и новые достижения (материалы, способы, системы, технологии, устройства и др.), кардинально меняющие окружающий мир. Это, прежде всего, можно отнести к изобретениям ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Способ повышения прочности на разрыв волокнистых композитов с помощью предварительной модифи-

© Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С., 2021

кации углеволокон углеродными нанотрубками и молекулами, содержащими аминогруппы (RU 2743566 C1)

Технической задачей изобретения является повышение механической прочности композита за счет формирования сетки углеродных нанотрубок на поверхности углеволокна. Для увеличения механической прочности формируемого композита к раствору углеродных нанотрубок также добавляется отвердитель, что, за счет взаимодействия с присутствующими в отвердителе аминогруппами, которые могут химически взаимодействовать с эпоксигруппами в эпоксидной смоле – связующем, в итоге ведет к повышению прочности всего композита [1].

Техническим результатом является разработка способа формирования сетки углеродных нанотрубок, связанной с углеволокном и окруженной молекулами отвердителя, химически взаимодействующего с молекулами связующего. При этом улучшение связывания эпоксигрупп с углеволокном достигается за счет улучшения смачиваемости углеволокна смолой при пропитке, за счет подбора эффективных растворителей, входящих в состав наносимых на поверхность углеволокон растворов.

Концентрация УНТ в дисперсии подобрана исходя из необходимости покрытия сеткой разориентированных УНТ поверхности углеволокна, при этом обеспечена приемлемая однородность. Увеличение концентрации УНТ в дисперсии, выше предложенной (250 мкг/мл) в изобретении, ведет к увеличению нестабильности системы в целом (образованию конгломератов и выпадению в осадок из раствора), а также приводит к сложности нанесения аэрозольным способом, что приводит к неоднородному распределению УНТ по поверхности углеволокон. Нижний предел концентрации (20 мкг/мл) определен как минимально возможная концентрация для формирования сетки УНТ методом аэрозольного распыления, снижение концентрации ниже 20 мкг/мл приводит к формированию областей, полностью свободных от УНТ и не оправдано экономически в связи с длительностью нанесения слоя для однородного формирования сетки УНТ, т.к. при такой концентрации наносится практически один растворитель.

Способ получения нанопроволоки из чистого серебра (CN111922359B)

Изобретение направлено на решение проблемы, заключающейся в том, что поливинилпирролидон ПВП (PVP), нанесенный на поверхность серебряной проволоки, трудно удалить после того, как серебряная проволока подготовлена обычным полиольным методом, и получен материал серебряной нанопроволоки с высокой прозрачностью и хорошей проводимостью [2].

Способ получения нанопроволоки из чистого серебра относится к области получения наноматериалов из серебра и включает в себя стадии предварительного приготовления раствора А (этиленгликолевого раствора полидиендиметиламмония хлорида) с концентрацией 0,05–0,1 моль/л и раствора В (этиленгликолевого раствора нитрата серебра) с концентрацией 0,4 моль/л; затем по каплям добавляют равный объем раствора В в раствор А при магнитном перемешивании, магнитно перемешивают смешанный раствор при комнатной температуре в течение 10–20 мин, затем нагревают до 160–200°С и продолжают реакцию в течение 6–10 часов с получением продукта; охлаждают продукт при комнатной температуре, отделяют продукт с помощью центробежной машины, промывают центрифугированный продукт и диспергируют промытый продукт в этаноле; серебряные нанопроволоки получают с использованием нового покрывающего агента полидиен-диметиламмонийхлорида, а защитный агент, нанесенный на поверхности серебряных нанопроволок, может быть удален промывкой, так что получаются чистые серебряные нанопроволоки и достигается лучшая проводимость и светопропускание.

Принцип изобретения заключается в следующем: во-первых, используются различные предшествующие защитные агенты полидиен-диметиламмонийхлорида, при этом полидиен-диметиламмонийхлорид может индуцировать рост серебряных проволок, оказывает адсорбционное действие на конкретную кристаллическую грань (100) серебра и может контролировать рост серебряных проволок. Диссоциированные хлорид-ионы и ионы серебра могут генерировать хлорид серебра, так что достигается эффект нуклеации, можно контролировать концентрацию ионов серебра в процессе реакции, регулировать скорость реакции и облегчать рост серебряных проволок. Самое главное, что в отличие от традиционной сильной адсорбции PVP на серебряной проволоке, полидиен-диметиламмонийхлорид, покрывающий поверхность серебряной проволоки, может быть удален промывкой, что дает возможность получить чистую серебряную проволоку.

Способ получения нанопроволоки чистого серебра характеризуется тем, что включает следующие этапы:

Этап 1. Подготовка раствора А, а именно гликолевого раствора полидиен-диметиламмонийхлорида с концентрацией 0,05–0,1 моль/л, и раствора В, а именно гликолевый раствор нитрата серебра с концентрацией 0,4 моль/л;

Этап 2. Капельное добавление раствора В с тем же объемом в раствор А при магнитном перемешивании,

магнитное перемешивание смешанного раствора при комнатной температуре в течение 10–20 мин., нагревание до 160-200°С и реакция в течение 6–10 часов для получения продукта;

Этап 3. Охлаждение продукта при комнатной температуре, отделение продукта с помощью центробежной машины, промывка центрифугированного продукта и диспергирование продукта в этаноле.

Молекулярная масса полидиен-диметиламмонийхлорида на этапе 1 составляет 100 000–500 000, нитрат серебра просеивают сеткой с ячейкой 20–100 перед приготовлением раствора, а этиленгликоль представляет собой безводный этиленгликоль.

Далее раствор В может быть растворен и приготовлен при помощи ультразвука, при этом время приготовления составляет 3–5 мин., а ультразвуковая частота – 40 кГц.

Далее раствор А перемешивают магнитным перемешиванием, причем скорость перемешивания составляет 100–500 об/мин.

Далее скорость добавления раствора В на этапе 2 составляет 1–3 мл/мин., а скорость вращения магнитного перемешивания – 350–600 об/мин.

Далее режим нагрева на этапе 2 – масляная ванна, предварительно нагретая до заданной температуры или духовка, или другое нагревательное оборудование.

Далее реакция на этапе 2 проводится в условиях покоя.

Далее скорость вращения центрифуги на этапе 3 составляет 10 000–20 000 об/мин, а время центрифугирования – 3–10 мин.

Далее промывку на этапе 3 предпочтительно проводить промывкой органическим моющим средством 1–4 раза, таким как ацетон, этанол и т.д., а затем промывкой деионизированной водой 3 раза.

На пути к безопасным и устойчивым инновациям в нанотехнологиях: состояние дел в области интеллектуальных наноматериалов

Европейский зеленый курс, новый План действий европейской комиссии по экономике замкнутого цикла, новая Европейская промышленная стратегия и Стратегия устойчивого развития в области химических веществ, запущенная в октябре 2020 года, – это амбициозные планы по достижению устойчивой, справедливой и инклюзивной экономики Европейского союза. В соответствии с Целями устойчивого развития Организации объединенных наций до 2030 года эта политика требует, чтобы любой новый материал или продукт был не только функциональным и рентабельным, но также безопасным и устойчивым, чтобы гарантировать соответствие нормам и принятие потребителями [3].

Нанотехнологии – одна из технологий, которые могут обеспечить такой зеленый рост. В этой статье рассматриваются передовые наноматериалы, которые активно реагируют на внешние стимулы, также известные как «умные наноматериалы», и которые уже находятся на рынке или находятся на стадии исследований и разработок для немедицинских приложений, таких как сельское хозяйство, продукты питания, упаковка пищевых продуктов и косметика. Обзор показывает, что интеллектуальные наноматериалы и соответствующие продукты могут создавать новые проблемы для оценки безопасности и устойчивости из-за их сложности и динамического поведения. Более того, существующие нормативно-правовые базы, в частности в Европейском союзе, вероятно, не полностью готовы к их решению. Чего сегодня не хватает, так это систематического и комплексного подхода, который позволяет рассматривать аспекты устойчивости одновременно с соображениями безопасности на очень ранней стадии проектирования материалов. Авторы призывают новаторов, ученых и органы власти к дальнейшему развитию и продвижению концепции «Safe-and Sustainable-by-Design» в нанотехнологиях и предлагают некоторые инициативы в этом направлении.

Способ распределения наночастиц на основе углерода при производстве нанокомпозиционных однонаправленных термопластичных лент (RU 2741945 C1)

Изобретение относится к химии полимеров и может быть использовано при изготовлении изделий и конструкций для строительства, машиностроения, авиации, космонавтики, судостроения, а также нефтегазовой промышленности [4]. Сначала смешивают порошок термопластичного полимера, например, полиэтилена, полипропилена, полиамида, полифениленсульфида, полиимида, полиамидимида или полиэфирэфиркетона, до 2 масс.% модифицирующих частиц на основе углерода в виде фуллереновой сажи со средним размером частиц 80 нм и лаурилсульфата натрия в качестве ПАВ. Затем приготовленную порошковую смесь замешивают с водой с получением суспензии, через которую протягивают ровинг. Материал ровинга выбирают из условия, что его температура плавления выше, чем у указанных полимеров. Изобретение позволяет обеспечить такое распределение модифицирующих частиц на основе углерода при производстве однонаправленных термопластичных лент, при котором повышается прочность и модуль упругости изготовленных из них изделий, а также улучшаются их триботехнические характеристики.

Способ распределения модифицирующих частиц на основе углерода при производстве однонаправленных термопластичных лент, включающий

протягивание ровинга через водную суспензию, содержащую термопластичный полимер и указанные модифицирующие частицы на основе углерода, отличающийся тем, что сначала готовят полуфабрикат, содержащий порошок термопластичного полимера, например полиэтилена, полипропилена, полиамида, полифениленсульфида, полиимида, полиамидимида или полиэфирэфиркетона и до 2 масс. % фуллереновой сажи, средний размер частиц которой составляет 80 нм, в присутствии лаурилсульфата натрия в качестве ПАВ, затем приготовленную порошковую смесь замешивают с водой с получением суспензии, а материал ровинга выбирают из условия, что его температура плавления выше, чем у указанных полимеров.

Устройство для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий на работоспособность технологического оборудования (RU201829 U1)

Представленная полезная модель относится к устройствам для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий, которые могут влиять на работоспособность автоматики технологического оборудования при эксплуатации технологического оборудования при движении транспортного средства.

Полезная модель направлена на решение технической задачи по повышению надежности технологического оборудования, установленного внутри кузова-контейнера при транспортировке по пересеченной местности. На рис. 1 представлена концептуальная основа полезной модели.

Основная идея данного технического решения основана на том, что технологическое оборудование зафиксировано прочно и неподвижно на специальной площадке. Она жестко связана с виброизолятором, который обеспечивает гашение вибрационных и ударных воздействий.

Эксплуатация «устройства для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий на работоспособность технологического оборудования». При движении базового шасси по пересеченной местности (на рис. не представлено) могут происходить резкие колебательные движения, влияние которых на автоматику технологического оборудования (см. рис. 1, п. 1) снижается за счет эксплуатационных свойств виброизолятора (рис. 1, п. 11), обеспечивающего стабильность в условиях длительной статической и динамической нагрузки. Наличие на торцевой стенке платформы (п. 9) жестко зафиксированной подушки (п. 12) и на торцевой стенке ниши (п. 2) фиксатора (п. 5) обеспечивает дополнительную защиту технологического оборудования (п. 1) от вибрационных и ударных воздействий.

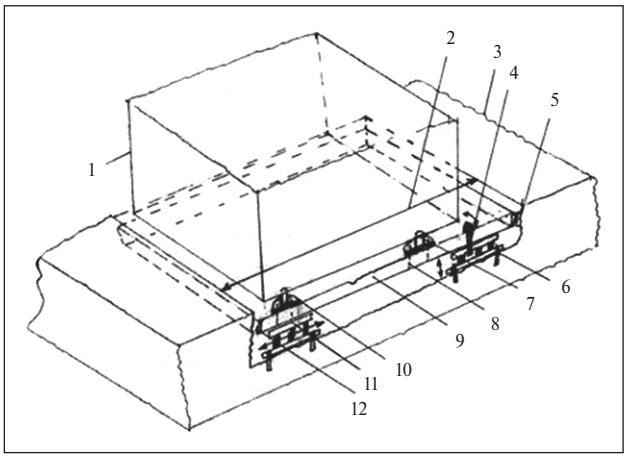


Рис. 1. **Устройство для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий на работоспособность технологического оборудования:** 1 – технологическое оборудование; 2 – ниша; 3 – пол; 4 – крепежное устройство; 5 – фиксатор; 6 – держатель; 7 – ножка; 8 – болт; 9 – платформа; 10 – подпятник; 11 – виброизолятор; 12 – подушка

Поставленная техническая задача решается за счет того, что устройство для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий на работоспособность технологического оборудования, отличающееся тем, что в полу встроена ниша, к которой жестко держателем зафиксирован виброизолятор марки SP1180-03, соединенный крепежным устройством с платформой из полимерного композитного материала, толщиной 30 мм, а также по периметру платформы неподвижно закреплена подушка, а к стенке ниши жестко крепится фиксатор из резины марки ТМКЩ толщиной 50 мм.

Проведенные экспериментальные исследования на производственной базе ООО «Проектинтертехника» позволили установить, что размещение стиральной машины на предложенном устройстве увеличивает продолжительность ее работоспособности в 1,35–1,4 раза, снижает вибрационные и ударные воздействия на автоматику в 1,35–1,51 раза.

Предложенное устройство обладает новизной и существенными отличиями от прототипа, обеспечивает повышение надежности технологического оборудования, установленного внутри кузова-контейнера при транспортировке по пересеченной местности. Техническое решение может использоваться в любых кузовах-контейнерах, внутри которых размещено технологическое оборудование.

Подано заявление на изобретение: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» МО РФ.

Высокоплотный трехмерный электропроводящий микро- и мезопористый материал на основе углеродных нанотрубок и/или малослойных графенов и способ его получения (RU 2744163 C)

Группа изобретений [6] относится к области получения материалов – компактизатов на основе многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) и/или малослойных графитовых фрагментов (МГФ), а также металлических и металлоксидных наночастиц, которые могут быть использованы при производстве композитов для поглощения звуков и электромагнитных излучений, носителей биологически активных объектов, катализаторов и сорбентов, элементов с контролируемым сопротивлением, магнитных композитов и т.д., которые могут найти применение в наноэлектронике, энергетике, аэрокосмической, машиностроительной и строительной промышленности и т.д.

Техническим результатом является получение компактизатов на основе МУНТ и/или УТФ, характеризующихся механической прочностью и устойчивостью каркаса при ультразвуковых воздействиях мощностью более 700 Вт на диаметр основания излучателя 10 мм, в т.ч. в вязких средах, параметры динамической вязкости которых выше 1 мПа при температуре 25°С.

В одном из вариантов осуществления изобретения наличие металлических включений в составе компактизата обеспечивает карбонизацию МУНТ и УГФ несколькими структурированными углеродными оболочками, что еще более упрочняет каркасную структуру и делает частицы стабильными при каталитических испытаниях.

Компактизат может дополнительно содержать наночастицы металла размером от 4 до 100 нм, покрытые углеродной оболочкой, размещенные в узлах каркаса (в местах сшивки нанотрубок/МГФ) до 30% по массе от веса компактизата. Как правило, углеродные оболочки наночастиц имеют толщину 2–8 графеновых слоев (от 8 до 12 нм).

Нанотехнологии как жизнеспособная альтернатива для удаления детерминант устойчивости к противомикробным препаратам из сбрасываемых городских сточных вод и связанных водосборов: обзор

Устойчивость к антибиотикам (AR) остается серьезной проблемой, вызывающей возмущение во всем мире как в клинических условиях, так и в окружающей среде. Огромное влияние сбросов городских сточных вод на водную среду сделало эту нишу центром исследовательского интереса к изучению появления и распространения AMR микробов и их детерминант/генов устойчивости. В текущем обзоре принят целостный подход к изучению распространения детерминант устойчивости к антибиотикам (ARD), а также их воздействия и судьбы в городских сточных водах и в принимающей водной среде. Различные стратегии, применявшиеся до сих пор для удаления детерминант устойчивости в муниципальных сточных водах, были тщательно изучены, в то время как возможности использования нанотехнологий в качестве жизнеспособной альтернативы подробно изучаются [7].

Из этого обзора сделаны следующие выводы: 1. Распространенность генов устойчивости к антибиотикам в очищенных сточных водах в настоящее время постоянно сообщается в различных частях мира, даже несмотря на отсутствие достаточных данных о судьбе и распространенности ARG на очистных сооружениях. 2. Несколько стратегий были использованы для удаления этих генов из сточных вод, но с незначительным прогрессом или без него. 3. Рассмотрение влияния рабочих условий, таких как pH, температура, ХПК, БПК, доступность хлора, дозировка адсорбента, поток воды, механизм удаления и генетическая конъюгация, трансформация и трансдукция, мутации и отбор при очистке сточных вод на заводах – это важно. 4. Использование нанотехнологии в качестве инструмента для устранения ARG путем разработки материалов, которые будут эффективно удалять нуклеиновые кислоты из воды, требует дальнейшего изучения. 5. Поскольку поверхность нуклеиновых кислот заряжена отрицательно, создание наночастиц с положительным поверхностным зарядом эффективно удалит это вещество из сточных вод за счет электростатического взаимодействия.

Способ получения многослойных износостойких алмазоподобных покрытий (RU 2740591 C1)

Изобретение относится к области получения сверхтвердых износостойких покрытий в едином вакуумном цикле с заранее заданными свойствами, конкретно к технологии формирования многослойного алмазоподобного покрытия, и может быть использовано в тяжелой и легкой промышленности, транспорте для повышения эксплуатационных характеристик изделий и увеличения их ресурса работы, деталей узлов трения, деталей точного машиностроения [8]. Известно, что основной причиной износа тяжелонагруженных узлов трения (зубчатые и шлицевые передачи) является возникновение трещин в его контактирующей части, являющихся причиной появления сколов и выкрашиваний, связанных с усталостным разрушением и явлением фреттинга. Одним из путей повышения стойкости и работоспособности шлицевых соединений с покрытием является нанесение покрытий многослойного типа. Наличие в по-

крытии слоев с определенными теплофизическими и механическими свойствами способно тормозить процессы образования и распространения трещин без снижения микротвердости, улучшить термонапряженное состояние шлицов с покрытием и повысить износостойкость. Также необходимо отметить, что при трении с высокими скоростями и колебаниями интенсифицируются процессы фреттинг-окислительного износа, способствующие разупрочнению материала покрытия и основы.

Техническим результатом изобретения является улучшение качества алмазоподобных пленок за счет изменения их структуры и состава, получения нижнего слоя с высокой адгезией с материалом подложки, среднего – с высокой твердостью и повышенной износостойкостью, верхнего – с хорошей теплопроводностью и теплостойкостью и низким коэффициентом трения. Предварительно проводят очистку изделий электроимпульсным полированием в водном растворе солей аммония с последующей ультразвуковой обработкой изделия. После этого изделие перемещают в вакуумную камеру и проводят обработку ионами аргона и азотирование в смеси газов. Затем магнетронным методом осуществляют поверхностное осаждение на поверхность изделия легирующих элементов толщиной 0,2 мкм из сплава Nb–Hf. После этого выполняют нанесение композиционного слоя металл-углерод с чередованием слоев, при этом сначала наносят градиентное покрытие Cr с линейным изменением параметров за время нанесения от начального значения к конечному в течение 90 с, а затем наносят следующий слой градиентного покрытия Al–Si. После этого наносят алмазоподобное покрытие низкоэнергетическим ионным источником.

Развитие нанотехнологий в мире и стандарты нанотехнологий в Турции

Цель этого исследования – изучить развитие нанотехнологий в мире и представить оценки экспертов по стандартам нанотехнологий в Турции. В этой работе основное внимание уделяется глубинному интервью, которое включает в себя постановку открытых вопросов и получение данных, которые исследователи сочтут полезными. Были опрошены представители десяти нанотехнологических институтов, таких как Турецкий институт стандартов, Нанотем, Министерство экономики и университеты, и были представлены их мнения. Турции необходимо решить некоторые проблемы с нанотехнологиями. Некоторые из них включают отсутствие стандартов нанотехнологий в области здравоохранения и окружающей среды, отсутствие правовых механизмов, проблемы с продуктами нанотехнологий и их коммерциализацией, отсутствие единства, обеспечивающего координацию между секторами в нанотехнологиях, отсутствие договоренности об использовании нанотехнологий. Есть международные стандарты нанотехнологий, но в Турции нет стандартов здоровья и окружающей среды [9].

Нормы стандартов важны для применения нанотехнологий, но они также необходимы для производства и сбыта продукции. Они также играют важную роль в общественной информации и осведомленности. На первом этапе установления стандартов рекомендации должны быть даны академическими сторонами, такими как исследовательские институты, правительственные учреждения. Разумные рекомендации должны быть получены и оценены государственным органом. Результат оценки должен быть принят и реализован соответствующим учреждением.

Износостойкий и стойкий к пожелтению отделочный материал и способ его получения (CN111923540B)

Данное изобретение раскрывает износостойкий, стойкий к пожелтению отделочный материал и способ его получения. Отделочный материал состоит из бумажного декоративного слоя и покрытия, которое проникает внутрь декоративной бумаги и отверждается, при этом покрытие содержит, по меньшей мере, один компонент из акрилового эпоксидного эфира, акрилового новолачного эпоксидного эфира, полиуретанового акрилатного олигомера, полиэфиракрилата и активного мономера, покрытие также содержит модифицированный нанодиоксид титана, а поверхность модифицированного нанодиоксида титана покрыта солью четвертичного аммония из хитозана и сульфированного лигнина, так что износостойкость материала повышается, светоустойчивость и устойчивость к пожелтению отделочного материала могут быть эффективно улучшены [10].

Износостойкие и стойкие к пожелтению отделочные материалы, которые могут быть получены этим способом, обладают хорошей гибкостью, а поверхности материалов не растрескиваются после сгибания и разгибания, могут быть нанесены на плоское покрытие и покрытие, требующее моделирования.

Кроме того, в представленном изобретении показано, что при получении отделочного материала можно регулировать тип олигомера, тип мономера, тип пластиковой пленки и связанные с ними технологические параметры в соответствующем покрытии с фактическими эксплуатационными требованиями, например, изобретатель находит, что вязкость покрытия составляет 5–200 сПуаз, а количество расхода покрытия составляет 20–100 г/м^2 после отверждения. Это благоприятно для повышения ударной вязкости

износостойкого и стойкого к пожелтению отделочного материала, прочности сцепления слоев материала, предотвращения от расслаивания получившегося материала; дозировка отверждения в потоке электронов составляет 5–50 кГр, скорость отверждения материала составляет 10–200 м/мин., а получившийся отвержденный износостойкий не желтеющий отделочный материал обладает хорошей прочностью.

В соответствии с фактическими потребностями требуемый рисунок может быть напечатан на износостойком и стойком к пожелтению отделочном материале, приготовленном в варианте осуществления, например износостойкий и стойкий к пожелтению декоративный материал может быть представлен в виде имитирующих рисунок дерева узорах или желаемых принтах.

Наконец, следует отметить, что вышеуказанные варианты применения изобретения используются только для иллюстрации технических решений настоящего изобретения, а не для ограничения сферы охраны настоящего изобретения, и хотя настоящее изобретение подробно описано со ссылкой на предпочтительные варианты осуществления, специалистам в данной области следует понимать, что модификации или эквивалентные замены могут быть сделаны при использовании предлагаемого технического решения настоящего изобретения без снижения его значимости.

Подано заявление на изобретение: 广东天安高分子科技有限公司 (Guangdong Tianan Polymer Technology Co., Ltd)

Способ жидкофазного синтеза наноструктурированного керамического материала в системе CeO_2–Sm_2O_3 для создания электролита твердооксидного топливного элемента (RU 2741920 C1)

В настоящее время все более возрастает спрос на энергетические ресурсы, при этом ископаемые виды топлива постепенно истощаются, а экологическая обстановка в мире ухудшается [11]. В связи с этим активное развитие получает альтернативная, водородная энергетика. Для ее дальнейшей разработки необходим поиск и создание современных материалов для электрохимических генераторов энергии. Перспективными среди них являются твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ).

Топливные элементы имеют огромную область применения – от аккумуляторов в портативных электронных устройствах до крупномасштабного производства электроэнергии и автономного ее использования (например, в удаленных районах). Энергоустановки на основе топливных элементов экономичнее традиционных почти в два раза. Их КПД может достигать 85%, а количество вредных выбросов почти в 100 раз ниже из-за отсутствия непосредственного химического контакта топлива с окислителем [11].

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) представляют собой привлекательные электрохимические генераторы, эффективно преобразующие химическую энергию взаимодействия водорода с кислородом в электрическую при минимальном воздействии на окружающую среду. На основе таких элементов созданы опытные установки мощностью до 100 кВт. ТОТЭ применимы, главным образом, для энергоустановок большой мощности, в которых возможно свести к минимуму относительную долю тепловых потерь в окружающее пространство. Одним из главных преимуществ этого типа топливных элементов является отсутствие жидкого электролита и возможность создания миниатюрного единичного элемента, состоящего из тонких слоев электродов и электролита.

Способ осуществляют путем выбора в качестве исходных реагентов азотнокислых солей церия $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ и самария $Sm(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, из которых приготавливают растворы с концентрацией ~0,5 М. Полученные растворы смешивают с учетом заданного стехиометрического соотношения оксидов и выпаривают на водяной бане в течение 3 ч до образования пересыщенного раствора, который охлаждают при температуре 3–5°С, после чего кристаллогидрат подвергают ультразвуковой обработке в течение 30 мин. Синтезированный порошок твердого раствора подвергают термообработке при 600°С, затем методом одноосного холодного прессования при давлении 150 МПа формуют компакты, которые обжигают при температуре 1300°С в трубчатой печи с изотермической выдержкой в 2 часа и скоростью нагрева – 350–400°/ч. Технический результат – разработка перспективной технология жидкофазного синтеза керамики для получения твердого электролита на основе диоксида церия для твердооксидных топливных элементов.

Сверхгидрофобное антиобледенительное покрытие обшивки самолета из алюминиевого сплава (CN212243774U)

Полезная модель обеспечивает сверхгидрофобное антиобледенительное покрытие авиационного алюминиевого сплава со сверхнизкой адгезией льда.

Поверхность обшивки состоит из многослойной микронаноструктуры, микронаноструктура базируется на трехмерной микроконусной структуре, циклически распределяемой на поверхности подложки из алюминиевого сплава, и на поверхности микроконуса распределяются плотно расположенные нанолистки и наноцветковые кластеры, состоящие

из нанолистков; и одна или две субмикронные сферы и микроконусы диспергируются и распределяются на поверхности микрометрического конуса или между микрометрическими конусами.

Сверхгидрофобное антиобледенительное покрытие обшивки самолета из алюминиевого сплава характеризуется тем, что на поверхности подложки/основы расположена микроконусная матричного вида структура, а на поверхности микроконуса плотно распределены нанослои и кластеры наноцветков, состоящие из нанослоев; одна или две субмикронные сферы и субмикронные цветки рассеяны/распределены на поверхности микроконусов или между соседними микроконусами.

Благодаря полезной модели раскрывается состав, покрывающий поверхность авиационного алюминиевого сплава, который устанавливает чрезвычайно низкую адгезию льда, а прочность льда и адгезии между поверхностями может быть низкой до 6 кПа, и лед может спадать сам по себе под воздействием собственной силы тяжести или в условиях незначительных вибраций. Разработанная структура может быть широко применена в области антиобледенения ключевых компонентов авиации, морских судов, средств наземного транспорта, рефрижераторов, кондиционеров и тому подобного [12]. Конкретные примеры приведены ниже, чтобы обеспечить лучшее понимание настоящего изобретения.

Пример 1.

Полезная модель раскрывает микронаноструктуру сверхгидрофобной антиобледенительной обработки обшивки из авиационного алюминиевого сплава со сверхнизкой адгезией льда, которая показана на рис. 2, а поверхность состоит из сложной микронанотретичной структуры, которая периодически/циклически распределена, причем наноструктура представляет собой двумерную наноструктуру листа и плотно растет на поверхности трехмерного микрометрического конуса.

Структура субмикронной сферы формируется путем укладки и выращивания нанослоев, диаметр

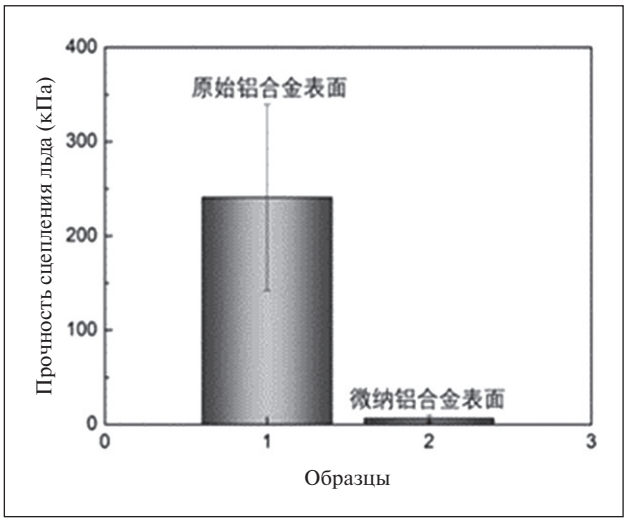


Рис. 3. **Сравнение адгезионной прочности льда обычной обшивки из алюминиевого сплава и обработанной обшивки из алюминиевого сплава (пример 1) настоящего изобретения**

структуры субмикронной сферы составляет около 500 нм, структура субмикронной сферы рассредоточена на микроконусе, и вся трехмерная трехуровневая сложная микронаноструктура имеет структурную характеристику интегрированной взаимосвязи.

После химической модификации поверхности она может иметь угол контакта капель воды около 160°. Прочность сцепления льда с поверхностью обшивки составила около 6 кПа, что почти в 40 раз ниже по сравнению с необработанной поверхностью обшивки из алюминиевого сплава (240 кПа), как показано на рис. 3.

Кроме того, прочность сцепления льда с поверхностью обшивки все еще не превышала 20 кПа после 10 толчковых испытаний льда, что указывает на лучшую механическую прочность поверхности и долговечность модифицированной поверхности.

Подано заявление на изобретение: 清华大学 (Tsinghua University) (Университет Цинхуа).

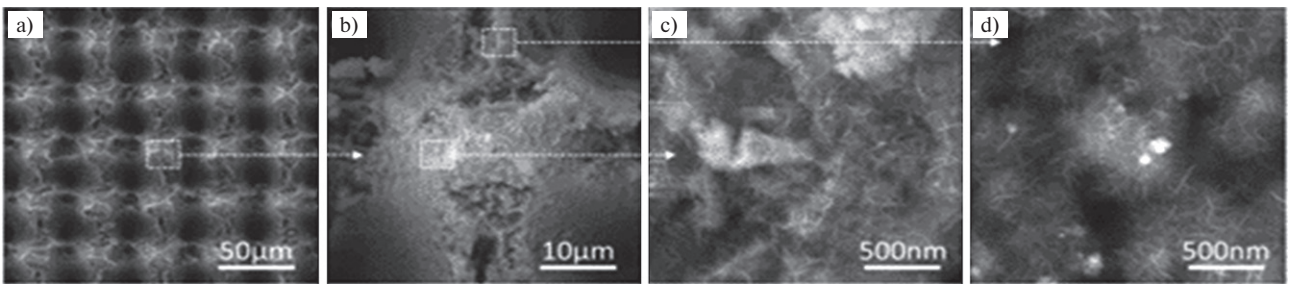


Рис. 2. **Многоступенчатая микронаноструктура сверхгидрофобной структуры обшивки антиобледенительного авиационного алюминиевого сплава со сверхнизкой адгезией льда на примере 1 настоящего изобретения (фотография сканирующего электронного микроскопа)**

Нанотехнологическая деятельность: данные по вопросам регулирования охраны окружающей среды

Несмотря на значительный рост использования наноматериалов, мало что обсуждается о возможных токсических эффектах для окружающей среды и здоровья человека. Те же характеристики, которые делают наночастицы интересными с точки зрения технологического применения, могут быть нежелательными, когда они попадают в окружающую среду, учитывая присущие наночастицам характеристики, такие как размер, площадь поверхности и способность к агломерации/диспергированию, которые могут облегчить их перемещение в окружающей среде и кумулятивное повреждение пищевой цепи. Проведенные экспериментальные исследования показали, что некоторые типы наночастиц могут оказывать неблагоприятное воздействие на эмбриональное развитие беспозвоночных, таких как морские ежи, устрицы и пресноводные улитки; позвоночных животных (рыб и лягушек) и млекопитающих – крыс и мышей. Принимая во внимание тенденции развития нанотехнологий, важно принять конкретные правила, обеспечивающие защиту окружающей среды, чтобы мы могли извлечь выгоду из инноваций, которые приносит нам нанотехнологии, не нанося вреда планете [13].

Это исследование обеспечивает контекстуализацию регуляторных вопросов охраны окружающей среды, связанных с наноматериалами, применительно к научным исследованиям. Хотя многочисленные исследования уже выявили негативное воздействие наночастиц на окружающую среду, результаты показывают, что исследования, связанные с токсичностью и использованием наноматериалов, в основном были направлены на исследования, направленные на защиту человека. Отмечен сдвиг парадигмы. С 2003 по 2011 год исследования, связанные с наноматериалами, были сосредоточены на законах и нормативных актах. В период с 2012 по 2020 годы исследования были сосредоточены на оценке риска наноматериалов, в том числе в регуляторной сфере.

Гибкая графеновая пленка и способ ее изготовления (RU 2742409 C1)

Изобретение относится к нанотехнологии и может быть использовано при изготовлении электротермических материалов с высокими механическими свойствами и низкой плотностью для гибких электронных устройств. Оксид графена или графен диспергируют в сильном растворителе. Полученный раствор оксида графена или графена отливают и получают соответствующую жидкую пленку с толщиной от 0,5 до 30 мм, которую погружают в слабый растворитель. После гелеобразования пленку сушат при 50–100°C

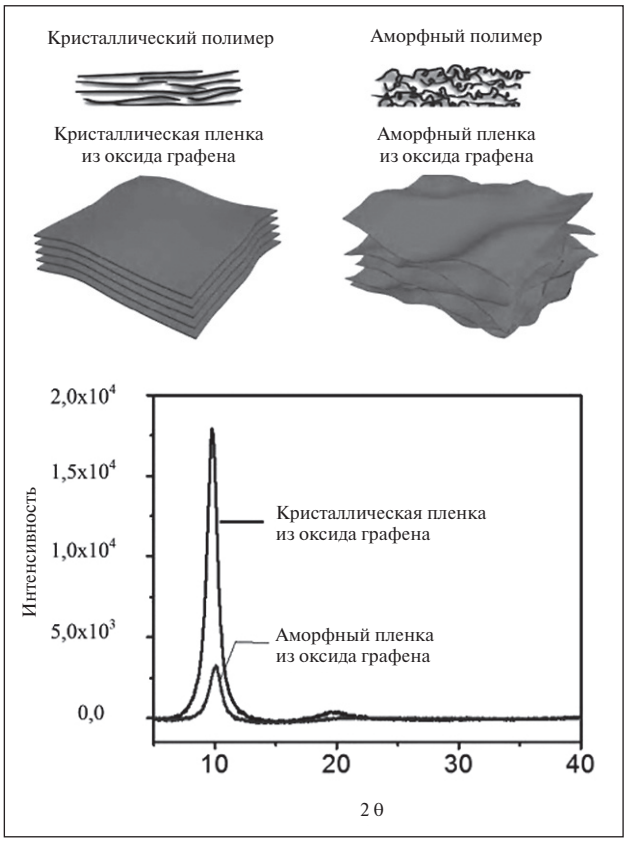


Рис. 4. **Пропорциональное изображение кристаллической пленки оксида графена, аморфной пленки оксида графена, кристаллического полимера и аморфного полимера**

в печи или в подвешенном состоянии в течение 5–24 ч с получением гибкой пленки оксида графена или графена. Концентрация раствора оксида графена 5–20 мг/мл, раствора графена 5–40 мг/мл. Жидкую пленку оксида графена погружают в слабый растворитель на 2–24 ч, а жидкую пленку графена – на 1–24 ч. В качестве сильного растворителя используют N,N-диметилформамид, воду, N-метилпирролидон, ацетон, диметилсульфоксид, пиридин, диоксан, N,N-диметилацетамид, тетрагидрофуран или этиленгликоль. В качестве слабого растворителя используют этилацетат, дихлорметан, алканы, метанол, этанол, n-бутанол, этиленгликоль, пропиленгликоль, глицерин, изобутанол, метилацетат, бутилацетат или уксусную кислоту. Гибкую пленку графена после сушки восстанавливают химическим, термическим или электролитическим способом. Полученные гибкие пленки имеют степень кристаллизации ниже 60% и состоят из многократно сложенных листов оксида графена или графена, наложенных друг на друга. Изобретение позволяет увеличить гибкость макроскопических графеновых пленок простым и технологичным способом без использования подложек [14].

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Инновационная технология очищения сточных вод с целью быстрого отстаивания осадка и улучшения очистки от загрязнений с помощью наноматериалов [15].
- Способ получения износостойкого наноструктурированного покрытия [16].
- Сегнетоэлектрический нанокомпозитный материал на базе пористого стекла и материалов группы дигидрофосфата калия [17].
- Способ получения наноразмерных оксидных металлических добавок, снижающих температуру спекания и/или повышающих производительность при изготовлении керамических деталей, улучшающих механические свойства без влияния на свойства остекловывания керамической массы, плиток или покрытий [18].
- Способ получения нанопорошка иттрий-алюминиевого граната [19].
- Способ получения полиметаллических нанопорошков [20].
- Экспериментальная оценка цементного раствора с использованием нанооксидных соединений [21].
- Способ получения графеносодержащих суспензий и устройство для его осуществления [22].
- Способ удаления остаточного растворителя из слоев на основе углеродных нанотрубок [23].
- Установка электроспиннинга для получения нановолокон [24].
- Способ модификации поверхности неорганических наночастиц – оксидов двухвалентных металлов, используемых для оценки токсического эффекта [25].
- Метод получения стабилизированных линейных цепочек углерода в жидкости [26].
- Наноразмерный элемент цифровой логики [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нелюб В.А., Орлов М.А., Калинников А.Н. и др. Способ повышения прочности на разрыв волокнистых композитов с помощью предварительной модификации углеволокон углеродными нанотрубками и молекулами, содержащими аминогруппы // Патент 2743566 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 5.

2. Способ получения нанопроволоки из чистого серебра (CN111922359B). – 2020.10.19. – https://patents.google.com/patent/CN111922359B/en?q=Nanomaterials&country=CN,RU&before=priority:20201231&after=priority:20200101&status=GRANT&type=PATENT&sort=new

3. Готтардо С., Мех А., Дрбохлавова Дж., Малыска А., Бёвадт С., Синтес Дж. Р., Раушер Х. На пути к безопасным и устойчивым инновациям в нанотехнологиях: состояние дел в области интеллектуальных наноматериалов // NanoImpact. – 2021. – 100297.

4. Бобрынина Е.В., Васильева Е.С., Гончаренко Д. и др. Способ распределения наночастиц на основе углерода, при производстве нанокомпозиционных однонаправленных термопластичных лент // Патент 2741945 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 4.

5. Романчиков С.А., Полпенюк И.Д. Устройство для снижения влияния вибрационных и ударных воздействий на работоспособность технологического оборудования (RU201829 U1). Полезная модель. Режим доступа: https://patents.google.com/patent/RU201829U1/ru?q=Nanomaterials&country=CN,RU&before=priority:20201231&after=priority:20200101&status=GRANT&type=PATENT&sort=new&page=2

6. Савилов С.В., Суслова Е.В., Черняк С.А. и др. Способ модификации поверхности неорганических наночастиц – оксидов двухвалентных металлов, используемых для оценки токсического эффекта // Патент 2744126 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 7.

7. Оджемайе М.О., Адефисойе М.А., Окох А.И. Нанотехнологии как жизнеспособная альтернатива для удаления детерминант устойчивости к противомикробным препаратам из сбрасываемых городских сточных вод и связанных водосборов: обзор // Журнал экологического менеджмента. – 2020. – 275. – 111234.

8. Колесников В.И., Сычев А.П., Колесников И.В. и др. Способ получения многослойных износостойких алмазоподобных покрытий // Патент 2740591 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 2.

9. Калипинар Х., Улас Д. Развитие нанотехнологий в мире и стандарты нанотехнологий в Турции // Процедуры информатики. – 2019. – 158. – 1011–1018.

10. Износостойкий и стойкий к пожелтению отделочный материал и способ его получения. (CN111923540B). 2020.10.13. Режим доступа: https://patents.google.com/patent/CN111923540B/en?oq=CN111923540B

11. Калинина М.В., Федоренко Н.Ю., Дюскина Д.А., Шилова О.А. Способ жидкофазного синтеза наноструктурированного керамического материала в системе CeO_2–Sm_2O_3 для создания электролита твердооксидного топливного элемента // Патент 2741920 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 4.

12.Сверхгидрофобное антиобледенительное покрытие обшивки самолета из алюминиевого сплава. (CN212243774U). Режим доступа: https://patents.google.com/patent/CN212243774U/en?q=nanomaterial&q=construction&country=CN,RU,FI&before=priority:20201231&after=priority:20200101&status=GRANT&type=PATENT&sort=new&page=4

13. Алмейда Л., Фельценшвалб И., Маркес М., Круз К. Нанотехнологическая деятельность: данные по нормативным вопросам охраны окружающей среды // Гелион. – 2020. – 6 (10). – e05303.

14. Гао Чао, Сюй Чжэнь, Сяо Юхуа. Гибкая графеновая пленка и способ ее изготовления // Патент 2742409 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 4.

15. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 1. – С. 23–31. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-1-23-31.

16. Балаев Э.Ю., Бузько В.Ю., Горячко А.И. и др. Способ получения износостойкого наноструктурированного покрытия // Патент 2742751 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 4.

17. Тарнавич В.В., Сидоркин А.С., Короткова Т.Н. Сегнетоэлектрический нанокомпозитный материал на базе пористого стекла и материалов группы дигидрофосфата калия // Патент 2740563 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 2.

18. Иванов Л.А., Ишков А.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть IV // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 5. – С. 275–284. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284.

19. Абиев Р.Ш., Здравков А.В., Кудряшова Ю.С. Способ получения нанопорошка иттрий-алюминиевого граната // Патент 2741733 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 4.

20. Спиридонов Н.И., Слепцов А.В., Селиверстов В.К. Способ получения полиметаллических нанопорошков // Патент 2742634 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 4.

21. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 331–338. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338.

22. Першин В.Ф., Алхило З.А., Баранов А.А. Способ получения графеносодержащих суспензий и устройство для его осуществления // Патент 2743523 РФ МПК C1 / 2021. Бюл. № 5.

23. Нелюб В.А., Калинников А.Н., Бородулин А.С. Способ удаления остаточного растворителя из слоёв на основе углеродных нанотрубок // Патент 2743559 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 5.

24. Иванов Л.А., Деменев А.В., Писаренко Ж.В., Ванг Ц. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 140–146. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146.

25. Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Зайцева Н.В., Землянова М.А. Способ модификации поверхности неорганических наночастиц – оксидов двухвалентных металлов, используемых для оценки токсического эффекта // Патент 2744126 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 7.

26. Кутровская С.В., Кучерик А.О., Скрябин И.О. Метод получения стабилизированных линейных цепочек углерода в жидкости // Патент 2744089 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 7.

27. Гурович Б.А., Приходько К.Е., Кулешова Е.А., Кутузов Л.В. Наноразмерный элемент цифровой логики // Патент 2744160 РФ МПК C1. 2021. Бюл. № 7.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

Прокопьев Пётр Сергеевич, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, студент факультета международных экономических отношений, г. Москва, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6305-4135, e-mail: prokopiev2012@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 05.03.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 29.03.2021.
Статья принята к публикации: 02.04.2021.

WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IS ONE OF THE LEADING CHINESE UNIVERSITIES

About Wuhan University of Technology

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

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

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

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

Since 1996, WUT has implemented the talent cultivation system reforms through setting up pilot classes, including international cultivation programs, undergraduate-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 «strong-strong» international cooperation research to enhance the laboratory's international influence, attractiveness and cohesion.

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

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

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

With an area of 25350 m^2, SKL possesses the required equipment for advanced materials synthesis and processing, material structure analysis, characterization and performance test, in total value of about 225.38 million RMB.

Contact information

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

R

УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

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

На основе длительного обучения студентов УУТ сформировал образовательную модель с отличительными особенностями: уделяя много внимания и сил высокому идеалу развития учреждения, который обладал бы всемирным уважением и признанием, университет несет идею «твердости в этике, всесторонности в образовании и развитии высокого мастерства» и следует основному принципу: «развитие студентов – это наша сущность, развитие науки – приоритет». УУТ реализует образовательную концепцию «обеспечения превосходного обучения, 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 A+ (3 университета занимают этот уровень, образуя топовые 2% в Китае).

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

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

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

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

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

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

Деятельность ГКЛ направлена на передовые достижения в материаловедении и выполнение государственных заказов в этой области. В ГКЛ занимаются созданием высококачественных композитных материалов и разработкой стратегически важных материалов с целью их использования в национальной системе обороны и развивающихся промышленностях для обеспечения политики государства; ГКЛ проводит нестандартные и системные исследования мирового опыта в трансформативных технологиях и новейших 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 Pacesetter Engineering in the New Century, 5 стипендиатов премии Ченг Конг и 18 победителей Проекта поддержки высококлассных специалистов нового века Министерства образования. Это команда, вдохновленная инновациями и созидательным процессом. ГКЛ мотивирует молодых ученых посещать знаменитые международные университеты или исследовательские институты в целях установления сотрудничества. За последнее время лаборатория отправила более 20 молодых специалистов для участия в совместных исследованиях за границу.

ГКЛ установило взаимовыгодное сотрудничество со всемирно известными научными институтами: Мичиганским университетом, Японским агентством авиакосмических технологий, Институтом металлов университета 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

R

PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107
Article type: Original article

Nanotechnology of "intellectualization" of energy accounting and of suppression of fire-energy harm in engineering systems of residential buildings. Part 1

V.V. Belozerov[1]*, Vl.V. Belozerov[1], T.B. Dolakov[2], M.A. Nikulin[3], S. N. Oleinikov[2]

[1] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
[2] Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Moscow, Russia
[3] State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

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

ABSTRACT: Introduction. Currently, both abroad and in Russia, there is a "general digitalization" not only of certain types of activities, but also of objects of the technosphere, for example, "smart houses", "safe cities", etc. However, the "creators" of these objects violated the main principle of automation of Academician V.M. Glushkov, which says: you cannot automate the mess! Therefore, the authors of this article made an attempt to "eliminate clutter" in the automation of engineering systems in the residential sector.
Methods, models and tools. Based on the analysis of the engineering systems of multi-apartment residential buildings and individual residential buildings, as a result of the functioning of which not only the delivery of "life support benefits" is carried out, but also fire-energy and environmental damage occurs, a methodology for "intellectualization" of the accounting means for the supplied resources has been developed for diagnostics and suppression of fire and energy harm with the help of modern nanotechnology and, thus, prevention of fires and explosions in the residential sector.
Results and discussion. The methodology of "intellectualization" is based on the results of a system analysis of the "functioning of the residential sector" (apartment buildings and individual residential buildings), which made it possible to "discover" the dialectical unity of benefits and harms from consumed energy resources (electricity, domestic gas, hot and cold water), as well as to carry out a systemic synthesis of nanotechnologies and means of "isolation and suppression" of fire and energy harm. The novelty of the research is protected by RF patents.
Conclusion. The proposed approach allows "eliminating the disorder before the automation" of engineering systems of multi-apartment residential buildings and individual residential buildings, by "intellectualizing" metering devices and optimizing nanotechnologies for suppressing fire and energy harm that brings socio-economic losses.

KEY WORDS: automation, engineering systems of buildings, fire and energy harm, diagnostics of fire and explosion hazard, electric meter-detector, reactive power compensator, membrane air separator, thermomagnetic air separator.

FOR CITATION: Belozerov V.V., Belozerov Vl.V., Dolakov T.B., Nikulin M.A., Oleinikov S.N. Nanotechnologies of "intellectualization" of energy accounting and of suppression of fire-energy harm in engineering systems of residential buildings. Part 1. *Nanotechnologies in Construction.* 2021; 13(2): 95–107. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107.

INTRODUCTION

According to statistics from the All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, about 70% of fires occur annually in the residential sector of the country [1]:

- in 1–2 storey buildings – up to 125 thousand fires and up to 10 thousand dead,
- in 3–5 storey buildings – about 20 thousand fires and about 2 thousand dead,
- in 6–9 storey buildings – about 16 thousand fires and up to 1 thousand dead,
- in 10–25 storey buildings – about 10 thousand fires and about 500 dead,
- in buildings over 25 floors – about 30 fires and up to 10 dead.

© Belozerov V.V., Belozerov Vl.V., Dolakov T.B., Nikulin M.A., Oleinikov S.N., 2021

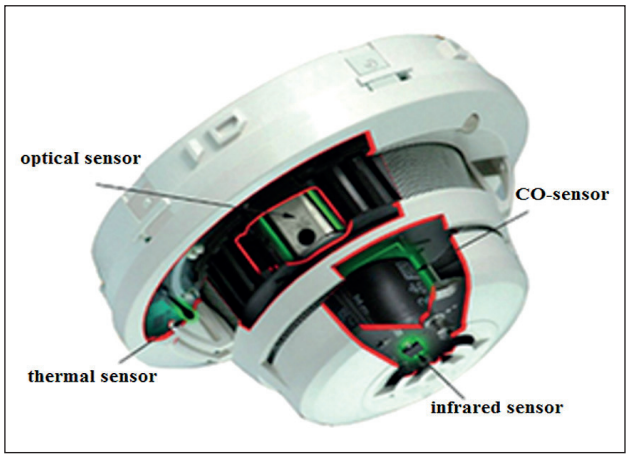


Fig. 1. **Multi-sensor**

If we introduce the concept of "the probability of death from the number of storeys of a building", i.e. the ratio of the death toll to the number of stores, then in high-rise buildings it is 4.16 times higher than 1–2 storeys buildings. And this is despite the fact that capital fire-prevention measures are provided for in buildings above 10 floors (smoke-free staircases, etc.) [2].

In many countries of the world (USA, Germany, Poland, Russia, etc.) in recent decades, autonomous fire detectors (AFD) have become widespread, installed in protected premises, which, when signs of fire are detected, an intermittent alarm signal with a sound pressure level of 85–90 dB at a distance of 1 m from the detector. Statistics show that the use of AFD can reduce the number of deaths in fires in the residential sector at night by 45% [3].

There are many known methods and devices for detecting fires that implement these methods [4]:

- Smoke fire detectors – ionization and optical;
- Thermal fire detectors – threshold and analog;
- Flame detectors – optical and based on the use of ultraviolet or infrared radiation;
- Gas fire detectors – for combustion products, including selective linear ones.

The most effective of these are detectors that combine photoelectric, thermal and gas sensors. Similar types of multi-sensors (Fig. 1) have been used for a long time, using very simple ("or-or") and combined ("and-and-or-and") decision-making methods in case of triggering of sensitive elements [5–8].

The fact is that different models of the temperature regime of fire development are used abroad. So, for example, the first American standard (now E119), was published in 1918, and its standard curve is almost identical to the British Standard (BS) curve, published in 1932 (Fig. 2a), which is described by the formula [9]:

$$T = T_0 + 345\log(0.133t + 1), \quad (1)$$

where T is the room temperature, °C; T_0 – temperature in the room at the time of ignition, °C; t – time, sec.

The standard temperature-time curve of a fire in a room ISO 834 (Fig. 2b) is described by the system [9]:

$$T = \begin{cases} T_0 + 504t^{0.141} & \text{at t < 10 minutes} \\ T_0 + 345\log(8\tau + 1) & \text{at t > 10 minutes.} \end{cases}$$

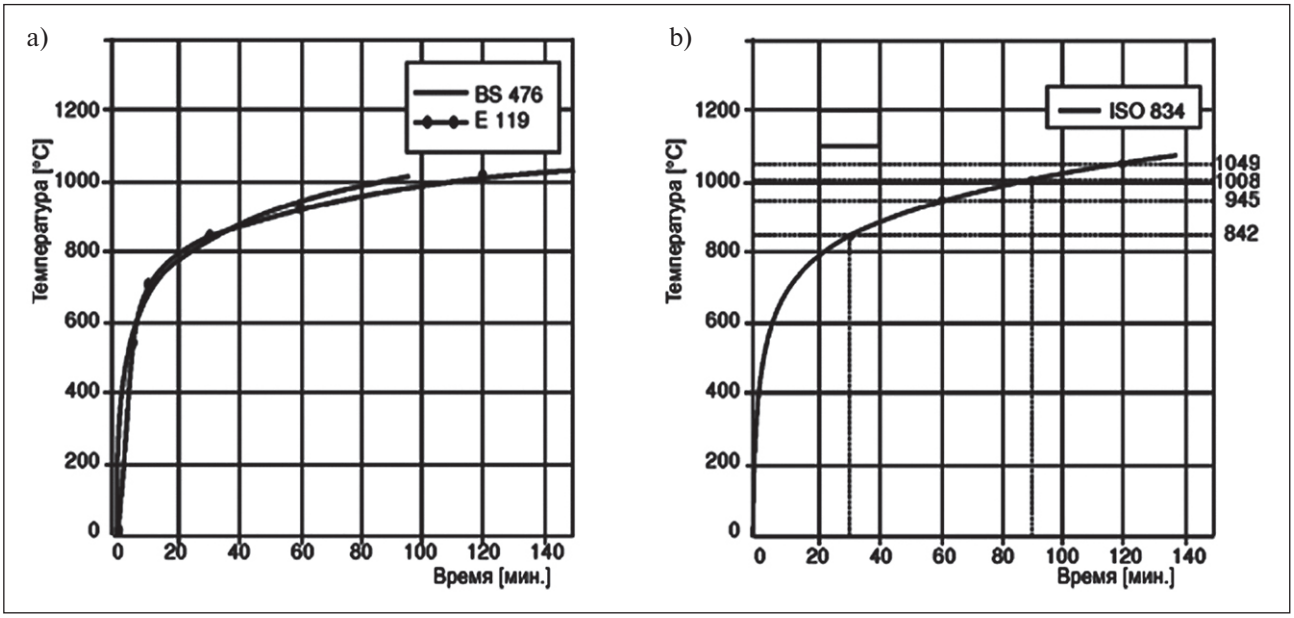


Fig. 2. **Temperature curves of the US and UK (a) and European (b) standards**

In our country, the generally accepted modeling of the temperature regime of fire development is carried out according to the equation [10]:

$$T = 345\lg(8t + 1) + T_0, \quad (2),$$

where T is temperature, °C; t – time, min., T_0 – room temperature at the moment of ignition, °C.

As follows from the graph of equation (2), its derivative (Fig. 3) has neither maxima nor minima, since is a hyperbolic function asymptotically approaching the "t" axis. This does not allow using with help the thermal sensor to unambiguously identify the initial stage of the fire, which leads to false alarms of thermal fire detectors [3, 4].

Normalized values (table 1) of hazardous fire factors (HFF) and graphs of functions of their main components (Fig. 4–6), obtained using the INTMODEL program (numerical solution of the system of differential equations by the Runge–Kutta–Felberg method of 4–5 orders of magnitude with variable step), allow us to make the following assumptions – if the same multi-sensor (Fig. 1) is to supplement with an oxygen sensor, then it is possible to identify the occurrence of a fire at the initial stage of ignition, due to the presence of extreme`s points on it [10–12].

However, the use of a multi-sensor with the calculation of the indicated extreme's (Fig. 4–6) has great inertia, because it will register hazardous factors of fire or explosion (HFFE) when they "reach" sensitive elements, which, as a rule, are installed on ceilings, in connection with which, "arrival to them" of HFFE ranges from several units to tens of minutes [7]. Therefore, for the early detection of HFFE, an aspiration method was invented [13] and a system that implements it, usually called "flowing" (Fig. 7).

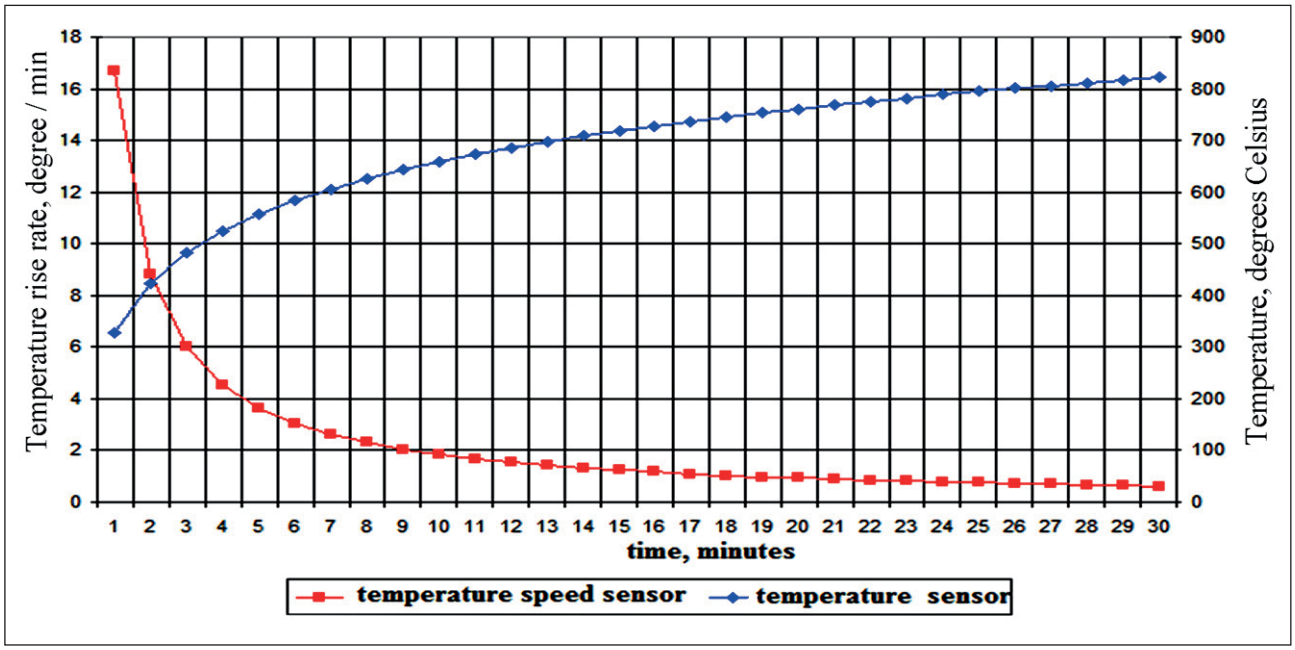


Fig. 3. **Graphs of "standard fire"**

Table 1

№, p/p	Hazardous factor of fire Limit value	Limit value
1	Carbon monoxide (carbon monoxide gas) – CO	1.16 g/m^3 (0.1% volume)
2	Carbon dioxide (carbon dioxide gas) – CO_2	0.00011 g/m^3
3	Hydrogen chloride	0.000023 g/m^3
4	Temperature	70°C
5	Intensity of heat radiation	1,4 kW/m^2
6	Oxygen concentration	15%
7	Ultimate visibility in smoke	20 m

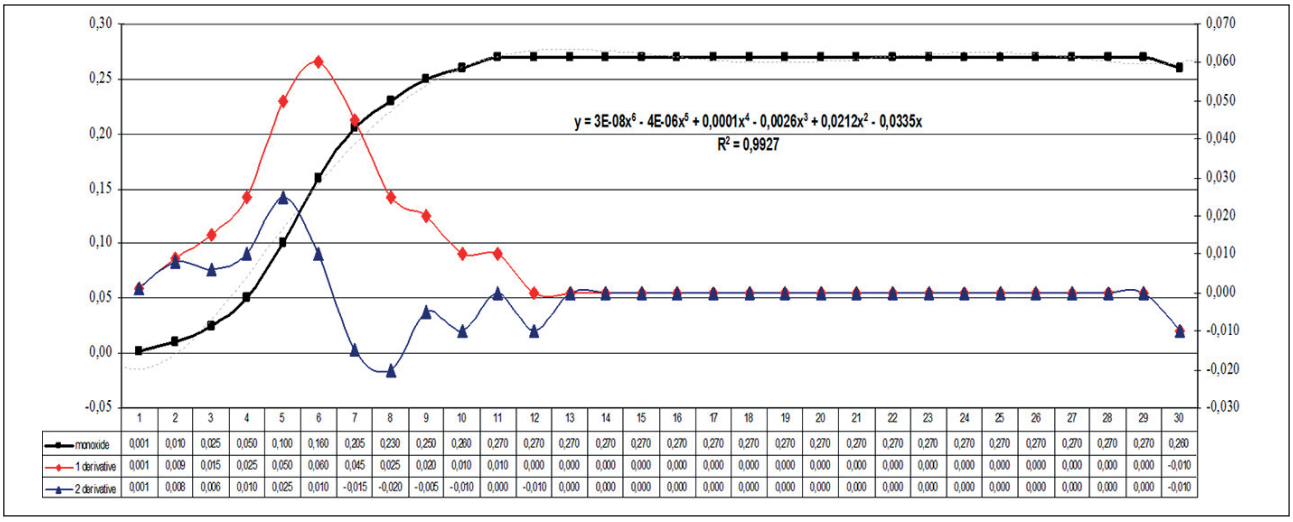
The essence of the method lies in the fact that standard sensors are installed in a chamber connected to a pipeline with special holes, which are situated in the protected premises, and the air of the protected premises is "pumped" through it by a fan. That is, if hazardous factors of fire or explosion (HFFE) arise, they are "drawn into the sensors" and are detected faster by an order of magnitude [4, 13].

At the same time, the performed studies have determined that the low quality of electricity consumed by electrical appliances (for example, low or high voltage, phase shift of current and voltage, etc.) reduces the technical resource of household electrical appliances and creates conditions for the occurrence of fire hazardous failures in them, i.e. increases the likelihood of fires for electrical reasons [14].

One of the first inventions in the field of determining the "shares of high-quality and low-quality" consumed electricity was the "Statistical analyzer of the quality and metering of electricity consumption" [15], where, when measuring and digitizing the alternating current voltage of curve of the network, deviations from the values set by standard [16] were identified, which were recorded, and after the required time (day, week, month) had elapsed, and were determined by formula:

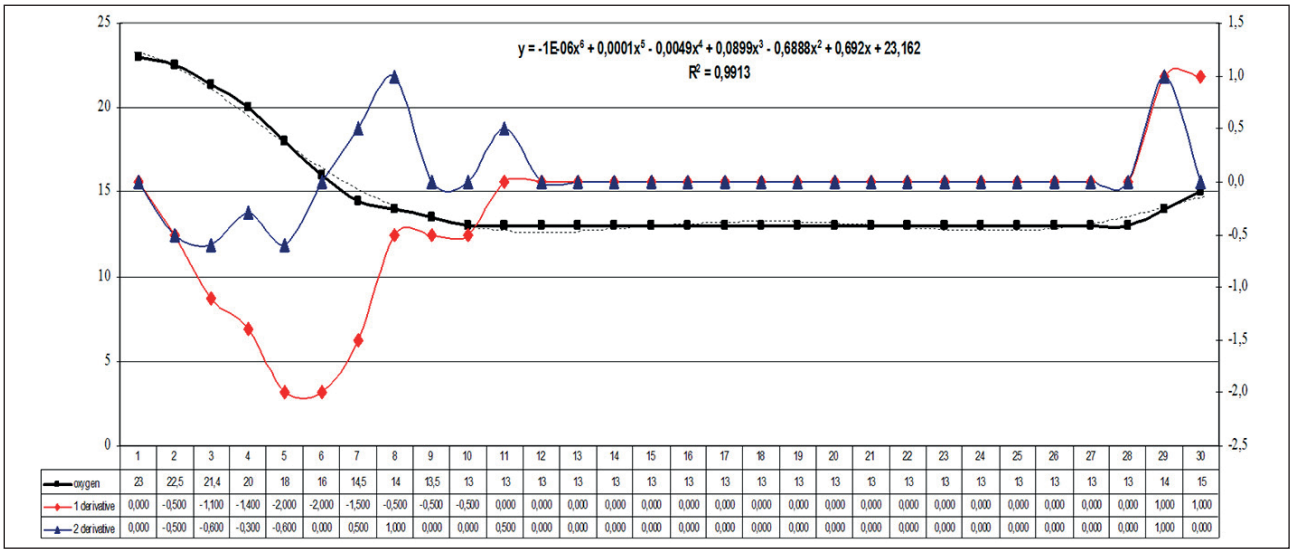
$$W = Wpd + Wud, \quad (3)$$

where W is the total amount of electricity supplied to the consumer during the time T; Wpd – the amount of consumed electricity with permissible deviations; Wud – the amount of consumed electricity in case of unacceptable deviations.



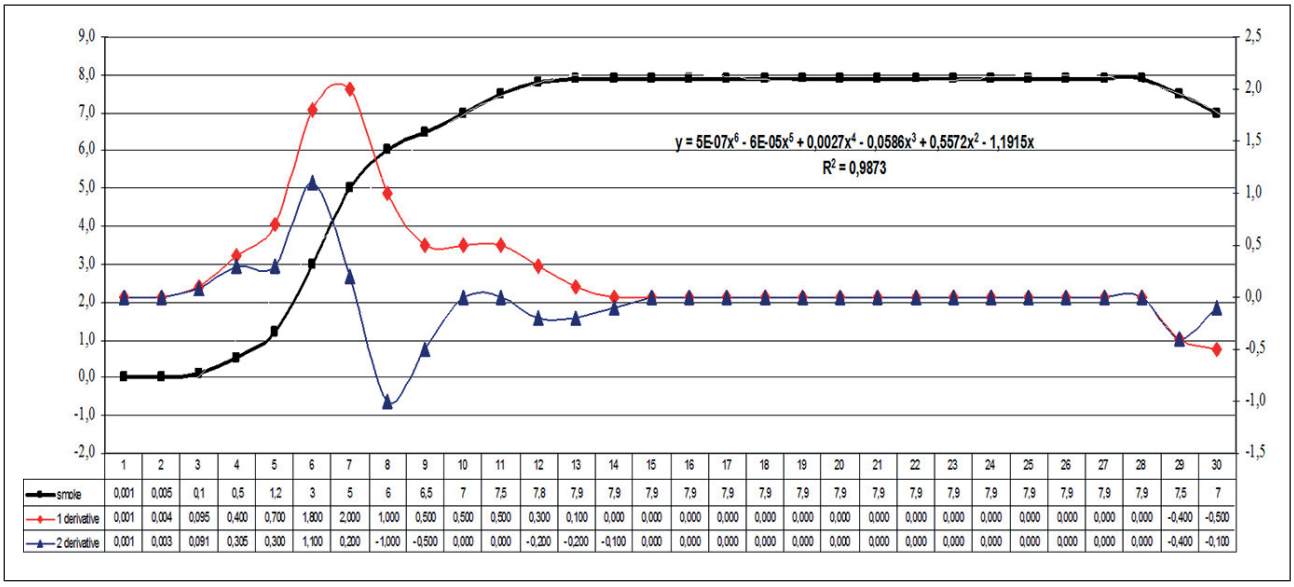
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
monoxide	0,001	0,010	0,025	0,050	0,100	0,160	0,205	0,230	0,250	0,260	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,260
1 derivative	0,001	0,009	0,015	0,025	0,050	0,060	0,045	0,025	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,010
2 derivative	0,001	0,008	0,006	0,010	0,025	0,010	-0,015	-0,020	-0,005	-0,010	0,000	-0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,010

Fig. 4. **Graph of dependence of the volumetric average concentration of carbon monoxide**



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
oxygen	23	22,5	21,4	20	18	16	14,5	14	13,5	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	15
1 derivative	0,000	-0,500	-1,100	-1,400	-2,000	-2,000	-1,500	-0,500	-0,500	-0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
2 derivative	0,000	-0,500	-0,600	-0,300	-0,600	0,000	0,500	1,000	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000

Fig. 5. **Graph of the dependence of the average volumetric concentration of oxygen**



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
smoke	0,001	0,005	0,1	0,5	1,2	3	5	6	6,5	7	7,5	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,5	7
1 derivative	0,001	0,004	0,095	0,400	0,700	1,800	2,000	1,000	0,500	0,500	0,500	0,300	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,400	-0,500
2 derivative	0,001	0,003	0,091	0,305	0,300	1,100	0,200	-1,000	-0,500	0,000	0,000	-0,200	-0,200	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,400	-0,100

Fig. 6. **Graph of dependence of the average volume optical density of smoke**

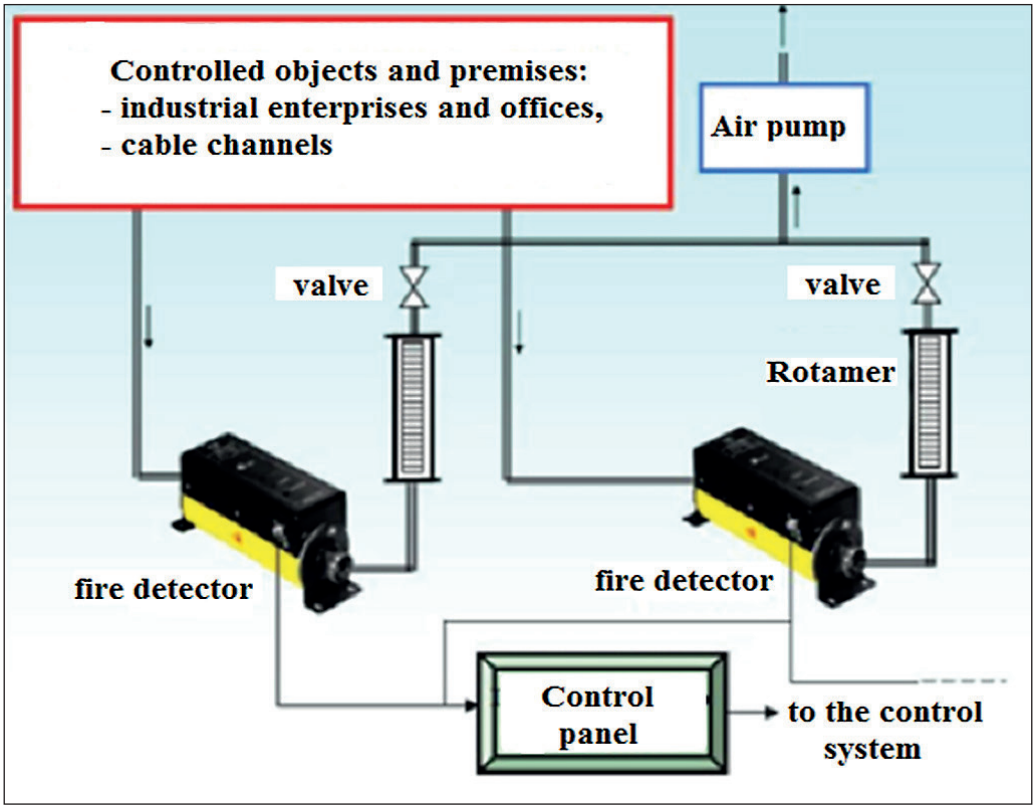


Fig. 7. **Aspiration fire alarm system**

Currently, a number of devices are being produced that record the quality of the electricity received and used, for example, the domestic LPW-305 device or the stationary analyzer of the amount and quality of electrical energy Circutor CVM series, which provide measurements of standarting of power quality indicators (PQI), necessary for calculating and visualizing the share of high-quality electricity [16,17]:

– the range of voltage change,
– steady-state voltage deviation,

– flicker dose,
– coefficient of the n-th harmonic component of voltage,
– the distortion factor of the sinusoidality of the voltage curve,
– coefficient of non-symmetry of voltages along the zero sequence,
– coefficient of non-symmetry of voltages in reverse sequence,
– the duration of the voltage dip.
– frequency deviation,
– coefficient of temporary overvoltage,
– impulse voltage.

It would seem that the introduction of "intelligence" into the electricity meter should lead to the fact that consumers will pay only for high-quality electricity, and "smart houses" [18] and the systems automated electricity metering (SAEM) may will become systems of quality and energy saving that protects the population of Russia from "defects in the production and supply" of electricity [19], including a change in the payment tariff and a fine for the supply of "substandard energy-resources" [20]. However, this did not happen, since the basic principle of automation was violated, formulated back in the last century by Academician V.M. Glushkov in the form of "prohibition of automation of the disorder" [21].

Moreover, despite the established (also in the last century) regularities of the occurrence of fires from electrical appliances if violation of the PQI [14], as well as the justification (already in this century) of the dialectical unity of "electrical benefits and of fire-electric harm", neither SAEM, nor "smart house" do not solve the problems of fire safety of objects and their consumers, because the "poor quality" of electricity is not recorded, as and the change for this reason of probability of fire from electrical devices, i. e. of the fire-electric harm (FEH) determining by the formula [22]:

$$FEH = Re \cdot W = Rpd \cdot Wpd + Rud \cdot Wud, \quad (4)$$

where W is the total amount of electricity supplied to the consumer during the time t; Wpd – the amount of consumed electricity with permissible deviations; Wud – the amount of consumed electricity in case of unacceptable deviations; Re – the average probability of a fire from electrical devices; Ppd – the probability of an electrical devices fire with permissible deviations; Rud – the probability of a fire in an electrical devices with unacceptable deviations.

A system analysis of this approach showed that the probabilities indicated in formula (4) should be updated by energy supervision annually, using the data of the Ministry of Emergency Situations of Russia on the statistics of fires at facilities for electrical reasons. This interaction is due,

firstly, by the fact that the probabilities of failures of electrical appliances are of a nonlinear nature, depending on the operating conditions of electrical radioelements (ERE) in them, the failure rates of which are described by equation of the Arrhenius–Eyring [23]:

$$\lambda = A(P,V,N,F)\frac{kT\cdot}{h}\cdot\exp\cdot\left(-\frac{E_a}{kT}\right)\cdot\exp\cdot\left[f(H)\right], \quad (5)$$

where λ – is the current failure rate of the element, 1/hour; A = ki • λo – product of dimensionless coefficients depending on pressure, humidity, vibrations, etc.) by the failure rate during storage (λo), 1/hour; k – Boltzmann's constant, 1,38 • 10^{-23} J/K; T – element temperature, °K; h – is Planck's constant, 6,626 • 10^{-34} J • s; E_a – effective activation energy of failure, J; f (H) – function of non-thermal (energy) load.

secondly, by the fact that fire hazardous failures (short circuit, open circuit, electrical breakdown) are hidden, at least an order of magnitude "deeper" than parametric failures described by equation (5), which requires special methods for their determination [23, 24],

thirdly, and this is the main thing, the ignition of ERE and the spread of fire in an electrical devices in the event of a fire hazardous failure is described by a system of nonlinear equations (6) of Semenov, Zeldovich and Frank-Kamenetsky, which include non-latent indicators of the fire hazard of substances and materials (flammability groups, degree fire resistance, etc.), from which the ERE are made, and their physicochemical characteristics [25], including protective coatings [26], which can be determined with a BETA-analyzer [22, 27, 28].

$$\begin{cases} Ze = \sqrt{2\lambda_B \frac{RT_П^2}{E_a}\cdot H\cdot K\cdot\exp\left(-\frac{E_a}{RT_П}\right)}; \\ Se = \frac{Q\cdot V}{S\cdot\alpha}\cdot\frac{E_a}{RT_{ПО}^2}\cdot K\cdot\exp\left(-\frac{E_a}{RT_{ПО}}\right); \\ F_к = \frac{Q\cdot r^2}{\lambda_O}\cdot\frac{E_a}{RT_O^2}\cdot K\cdot\exp\left(-\frac{E_a}{RT_O}\right); \end{cases}, \quad (6)$$

where Ze – is the Zeldovich criterion (critical heat flux density); λgf – coefficient of thermal conductivity of the gas phase; R – is the gas constant; Tf – is the furnace temperature; E_a – is the activation energy for pyrolysis of the sample; H – is the thermal effect of the reaction in the gas phase; K – pre-exponent; Se – Semenov's criterion (Se = 0.368); Q – is the heat supplied to the sample; V – is the current sample volume; S – is the current surface area of the sample; αs – is the current heat transfer coefficient of the sample; Tss – is the temperature of the sample surface; Fk – criterion of Frank-Kamenetsky

(Fk = 2.00); r – is the linear size of the sample; λo – coefficient of thermal conductivity of the sample; Ts – is the temperature of the sample.

Therefore, the determination of the probabilities indicated in formula (5) is possible only when using the fire statistics databases of the Ministry of Emergency Situations of Russia in each specific region, as well as their processing by the method of time series analysis [29], and this approach can be implemented in the residential sector only with the help of "intellectualization" electric meters[30], with the interaction of energy supervision and state supervision [31].

METHODS, MODELS AND MEANS OF DETECTING AND SUPPRESSION ELECTRIC FIRE HAZARD

Considering the above, the obvious solution, i.e. "elimination of disorder in the power supply" was the development of a method for determining fire and electrical harm and hazardous fire factors using an electric meter-detector protected by RF patents [22, 30], by integrating the above sensors (heat, smoke, oxygen and carbon monoxide) into an electric meter and their docking with an aspiration system, which made it possible to ensure early detection of a fire in an apartment or an individual residential building where such an electric meter-detector (EMD) is installed (Fig. 8), as well as to turn on the sound notification of a fire and send a call to the nearest fire department by radio channel or by means of cellular communication [31].

However, for the normal functioning of electrical appliances in the residential sector and ensuring their fire safety, especially in rural areas, where PQIs are constantly violated [31, 32], control over the quality of consumed electricity is not enough – it is advisable to "smooth out the quality of delivery" of electricity to the consumer, i.e. to improve the PQI at the place of electricity consumption, which is successfully performed by reactive power regulators [33, 34].

Contactor capacitor units are most widely used due to their facilitated implementation and low cost compared to thyristor capacitor units. However, if the load has a sharply variable character, then thyristor capacitor units are used to compensate for reactive power, because they, firstly, have the highest speed, and secondly, the switching of capacitors in them occurs at zero current, which significantly increases the service life of both capacitor banks and the entire installation as a whole. In this case, the following reactive power compensation schemes are distinguished at the connection point [33, 34]:

– general – at the input of the object (enterprise, micro district, etc.);
– group – on the power supply line of a group of consumers of the same type (a group of residential buildings, etc.);
– individual – a capacitor unit is installed in close proximity to the consumer for control cosine phi.

In the residential sector, especially in rural areas, an individual compensation scheme is more preferable because allows you to compensate for reactive power directly at the place of its origin and consumption of electricity, without causing an overflow of reactive energy in power lines, and in the case of a constant power factor of the consumer, fully compensate for reactive power using a capacitor bank (Fig. 9). In this case, it is possible to implement both lateral and longitudinal compensation [35, 36].

Considering that recently, electrical household appliances with electric motors (refrigerators, washing machines, split systems, vacuum cleaners, electric meat grinders, etc.) have begun to dominate in the structure of household appliances, i.e. the nature of the load in

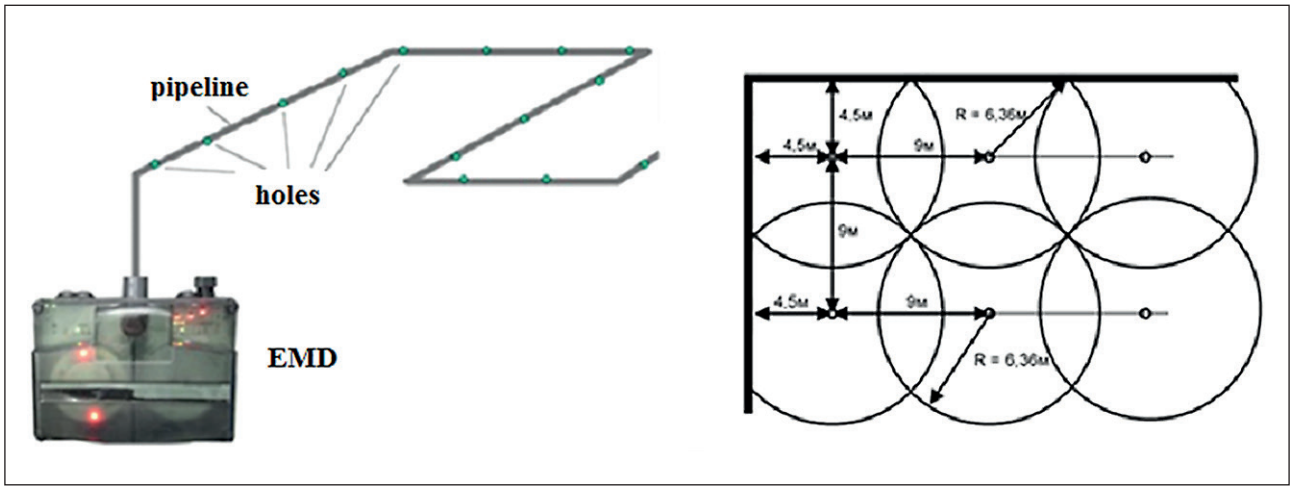


Fig. 8. **Scheme of aspiration with electric meter-detector (EMD)**

Fig. 9. **Capacitor reactive power compensator (CRPC)**

the residential sector has become predominantly by active-inductive, it is advisable to use capacitor reactive power compensators (CRPC), the main advantages of which are [33, 34]:

– small losses of active energy (within 0.3–0.45 kW/100 kvar);
– low weight (does not require a foundation);
– simple and inexpensive operationservis;
– an increase or decrease in the number of connected capacitors depending on the change in the cosine of the voltage and current shift angle;
– compactness, which makes it possible to install the unit in any place (next to electrical equipment, electricity meter, etc.).

In addition to maintaining the set power factor, and "smoothing" fluctuations in phase voltage, current and generation of reactive energy during the hours of minimum and maximum loads (Fig. 10), reactive power compensator [33, 34]:

– constantly monitors the change in the amount of reactive power in the compensated circuit;
– excludes overcompensation and its consequence – overvoltage in the network;
– monitors the main indicators of the compensated network;
– checks the operation of all elements of the CRPC and the mode of its operation.

Many authors believe that the use of CRPC in single-phase household networks is not effective because individual "single-phase consumers" pay only for active power, and reactive power compensation reduces the total consumption by a few percent [36]. At the same time, regulatory documents also do not require that reactive load compensation be provided for in residential and public buildings [37].

However, from the point of view of the occurrence of the FEH, the "smoothing" of voltage and current

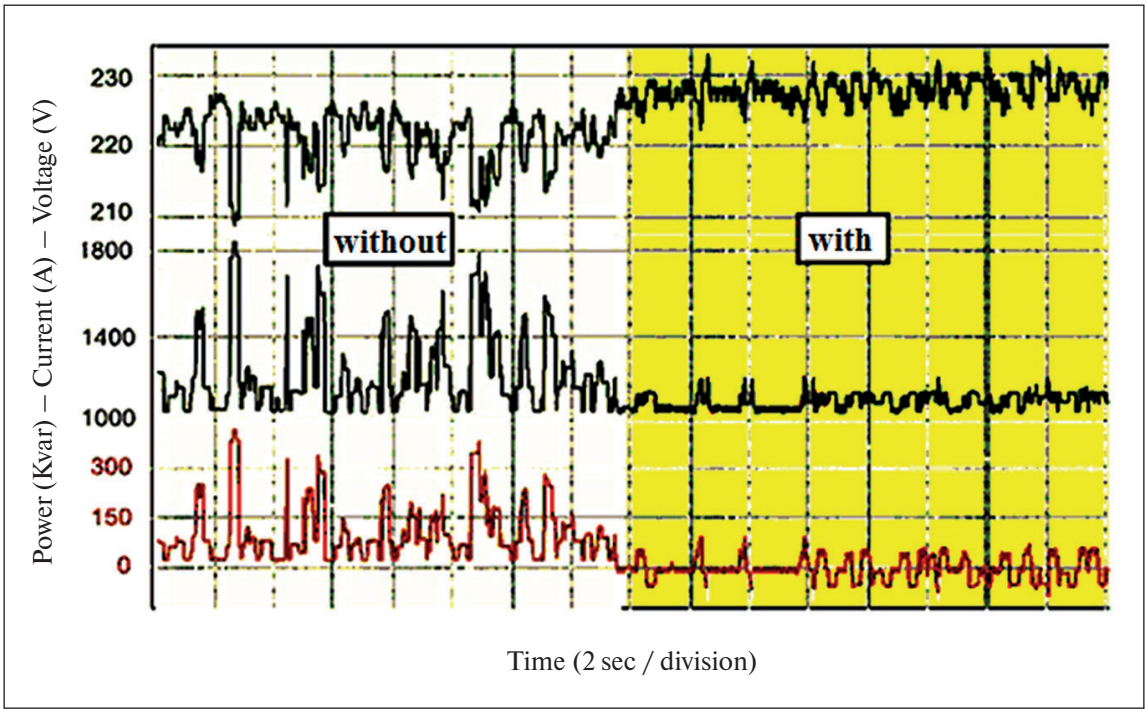


Fig. 10. **Graphs of voltage, current and power consumption with and without CRPC**

achieved in this case, allows more than an order of magnitude to reduce the probability of fire-hazardous failures in household electrical appliances, and, consequently, to reduce the number of fires and socio-economic losses from them [2, 14, 31, 38].

For automatic control of reactive power compensation, i.e. connecting / disconnecting capacitors in the battery (Fig. 11), the following method was used to determine the current cosine "phi", protected by the copyright certificate [39]:

$$\cos\varphi = \frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2\sqrt{U_2^2 - U_3U_1}} \cdot \frac{2I_2^2 - I_3I_1 - I_1^2}{2I_2\sqrt{I_2^2 - I_3I_1}} + \left[\pm\sqrt{1-\left(\frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2\sqrt{U_2^2 - U_3U_1}}\right)^2}\right] \cdot \left[\pm\sqrt{1-\left(\frac{2I_2^2 - I_3I_1 - I_1^2}{2I_2\sqrt{I_2^2 - I_3I_1}}\right)^2}\right], \quad (7)$$

where U1, U2 U3 – instantaneous values voltage of the phase of the consumed electricity at equidistant intervals during a half-period; I1, I2, I3 – instantaneous values current of phase of the consumed electricity at equidistant intervals during a half-period.

Each KPS-0.55-0.41-2UZ capacitor with a capacity of 10 microfarads is connected by MOS3041 optosimistors, and the MOS3041 optosimistors are controlled by supplying a certain voltage level (0.4 V, 0.8 V, 1.2 V...4 V) from a digital-to-analog of converter (DAC) of the controller to the gates of all field-effect transistors 2P304A. The 2P304A modes are selected so that at a level of 0.4 V, the 1st transistor opens, which leads to the "ignition" of the LED of the 1st triac and the connection of one 10 μF capacitor, at a level of 0.8 V – the 1st and 2nd and etc., up to 4 V, which connect the entire 90 uF battery. To provide such a "step control", we calculated the dividers from the resistances, which set the necessary operating modes of field-effect transistors for a single-phase network, taking into account the limitation for the digital-to-analog converter (DAC) of the load value, including the last stage (Fig. 11), which is controlled by a separate channel DAC, and also serves to turn off the power supply of an apartment/individual house in a fire-hazard mode of electricity consumption and when ignition [2, 35, 38].

For a 3-phase network, which is used in residential high-rise buildings, it is enough to install 3 capacitor banks of 7 same capacitors in each, with the same control of each separately, which will require sixe DAC channels [2, 38].

Thus, supplementing the EMD with an oxygen sensor and a reactive power compensation unit (RPCU), as well as a more powerful controller with multichannel ADC and DAC, we obtain (Fig. 12) an electric meter-detector-suppressor (EMDS) FEN, i.e. a decrease in the second term in formula (4) and, thereby, due to low-quality electricity, of the probability, of fire from all electrical appliances in the residential sector [2, 14, 24].

RESULTS AND DISCUSSION

The developed electric meter-detector-suppressor (Fig. 12) contains in its housing:

- a chamber with a suction fan (1) and sensors in it (heat, smoke, oxygen and carbon monoxide), connected to the pipeline of the aspiration system,
- controller (2) with multichannel analog-to-digital converter (ADC) and digital-to-analog converter (DAC), with LCIP visualization module (3) and GSM radio modem (4),
- reactive power compensation unit (RPCU) with power supply and battery.

Unlike the patented EMD solutions [22,30], the units for measuring the consumed electricity and its quality, calculating of fire-electric harm and identifying hazardous fire factors are implemented on the controller (2), as software modules, performing the following functions [2, 35, 38, 40]:

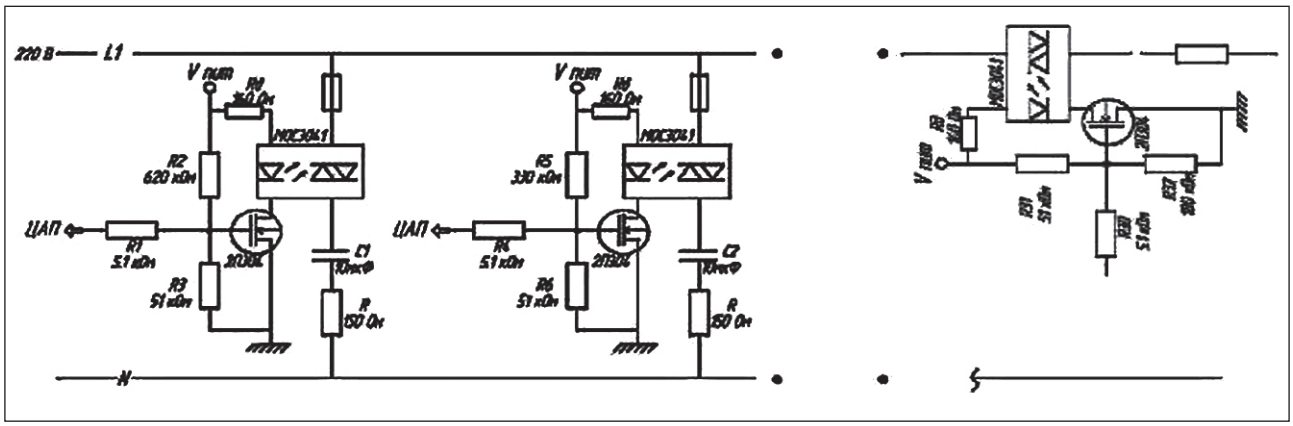


Fig. 11. **Schematic diagram of the capacitor control unit for one phase**

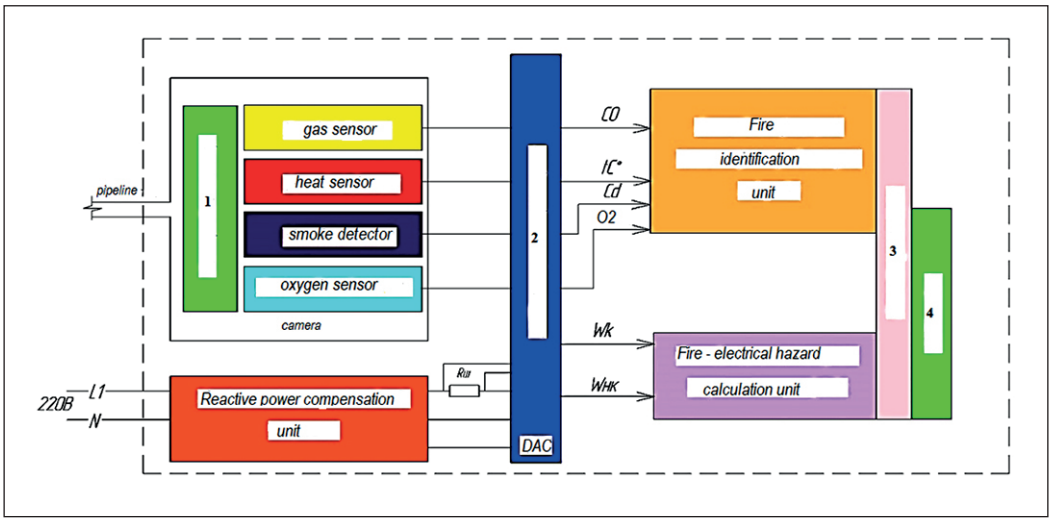


Fig. 12 **Block diagram of an electric meter-detector-suppressor (EMDS):**
1 – electric fan; 2 – controller with multichannel ADC and DAC; 3 – liquid crystal indicator with piezo-module of audio-video information (LCIP-module); 4 – GSM radio modem

– process the data of the ADC channels to which the specified sensors are connected, calculating and recording in real time (in the flash memory and/or on the flash card) the temperature and concentration of the FEH and oxygen [9–12] in the protected rooms (in the air, pumped through the chamber),
– process the data of the ADC channels, which are connected to the current shunt (Fig. 12) of the shutdown stage (Fig. 11), calculating and recording in real time (in the flash memory and / or on the flash card) PQI [16] and coefficients power [39], summarizing and visualizing on the LCDP-module the consumed electricity (high-quality and low-quality) and the averaged current cosine "phi",
– calculate the fire-electrical harm (FEH) according to the formula (4), visualizing its averaged value on the LCIP-module (3), and control the operation of the RPCU, according to the power factor calculated according to the formula (5),
– form and transmit using a GSM radio modem (4) to the power organization and / or management company data blocks on the consumed electricity, in accordance with the established time periods and at their request, as well as to the supervisory authorities (fire, electric), in fire-threatening cases , with unacceptable quality and power outages,
– identify the HFF by the synchronous growth of the function (2) of temperature (Fig. 1), the function of the average volumetric concentration of carbon monoxide (Fig. 4) and the average volumetric optical density (smoke) of the air (Fig. 6), with synchronous with a decrease in the oxygen concentration (Fig. 5) in the protected premises, after that turn on light and sound alarms, generating and transmitting a message about the fire to the fire brigade using a GSM radio modem (4), as well as to the owner of the property and to the management company,
– the power supply of the protected premises is turned off with the help of a triac (Fig. 11) in the RPCU, in case of a fire-threatening mode of electricity consumption and / or in case of its unacceptable quality, as well as in case of detection of a HFF in the protected premises.

At the same time, calculating the FEH according to formula (4), the software module calculates the changes in the probabilities (Pd and Pnd) and their deviations (ΔPe, ΔPd and ΔPnd), from the average statistical data that must be updated by the energy supervision according to the data of fire supervision, during an annual check EMDS.

CONCLUSION

As a result of a system analysis of the problems of safe life in the residential sector (in apartments in residential buildings and in individual residential houses) of cities and towns of the Russian regions, fundamental shortcomings in the organization and automation of metering of consumed electricity in the residential sector were revealed.

On the basis of the developed probabilistic-physical approach to the occurrence of fire-electrical harm (FEH) in the residential sector when electricity is consumed, a sequential systemic synthesis of the method and means of diagnostics of HFF with nanotechnologies for its suppression was carried, with using of electric meter-de-

tector-suppressor (compensation unit reactive power), which, together with the aspiration method for detecting the HFF, prevents the occurrence of a fire for electrical reasons, by timely disconnecting the power supply to the protected premises, and also provide early detection of ignition in them due to other reasons (careless handling of fire, etc.)).

The proposed approach, according to the authors, is designed to "eliminate clutter" in the supply and metering of electricity to the residential sector, as well as to optimally automate the power supply and fire alarm in the residential sector, regardless of the structures of energy supply/management companies and of territorial emergency and supervisory services.

The proposed method and EMDS enable to implement it using the reinvestment model of the system of adaptive fire-electric taxation of individuals in the residential sector in the shortest possible time [20, 31, 32, 38].

The studies have shown that the proposed approach can be implemented at the objects of trade, health care, education, science and culture [3, 12, 20–25].

REFERENCES

1. Meshalkin E.A. Fire safety of residential buildings. *Security systems*. 2013; 1: 106–109.

2. Perikov A.V. System analysis and nanotechnology of safety in engineering systems of residential high-rise buildings. *Nanotechnologies in Construction*. 2018; 10(2): 114–130. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2018-10-2-114-130.

3. Boguslavsky E.I., Belozerov V.V., Boguslavsky N.E. *Forecasting, analysis and assessment of fire safety*. Rostov-on-Don: RSSU; 2004.

4. Chlenov A.N., Fomin V.I., Butsynskaya T.A., Demekhin F.V. *New methods and technical means of fire detection*. Moscow: Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; 2007.

5. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system. *Information Technology Journal*. 2010; 9(4): 758–765. Available from: doi: 10.3923/itj.2010.758.765.

6. Turgay Çelik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model. *Fire Safety Journal*. 2009; 44(2): 147–158. Available from: doi: 10.1016//j.firesaf.2008.05.005.

7. Chlenov A.N., Butsynskaya T.A., Zhuravlev S.Yu., Nikolaev V.A. On the effectiveness of the functioning of a multi-criteria fire detector. *Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(12): 55–60. Available from: doi: 10.18322/PVB.2016.25.12.55-60.

8. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. Radio detectors of technosphere danger and its navigation with an Internet system of their functioning. *Fundamental research*. 2013; 10: 2843–2853.

9. Mozgovoy N.V., Zaitsev A.M. Analysis of functional dependences of the temperature curve of a standard fire. *Scientific Bulletin of VGASU*. 2008; 3: 196–199.

10. Koshmarov Yu. Prediction of hazardous factors of fire in the room. Moscow: AGPS Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation; 2000.

11. GOST 12.1.004. *Fire safety. General requirements*. Moscow: Ed. standards; 1992.

12. GOST R 12.3.047-2012. *Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods*. Moscow: Standartinform; 2014.

13. *Recommendations for the use of VESDA aspirating smoke detectors. Parts 1, 2 and 3*. Moscow: VNIIPO EMERCOM of Russia; 2003.

14. Belozerov V.V., Topolsky N.G., Smelkov G.I. *Probabilistic-physical method for determining the fire hazard of radio-electronic equipment*. In: Scientific and technical support for fire-prevention and rescue operations: Materials of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference. Moscow: VNIIPO; 1993. p. 23–27.

15. Kushnarev F.A., Reshetnikov Yu.M., Nikiforova V.N., Ermakov V.F. *Statistical analyzer of quality and metering of electricity consumption*. Russian Federation Patent 2260842. 2008-07-15.

16. GOST 13109-97. *The quality of the electrical network. General requirements.* Moscow: Ed. standards; 1997.

17. *Telemetric meter of electrical parameters of quality, power and amount of electrical energy LPW-305*. Operation manual: DLIZH.411722.0001 OM. Moscow: LLC "L Card"; 2011.

18. Avdeev A.S., A.I. Gerasimova The main problems of programming systems "Smart House". *Prospects for Science*. 2014; 10: 62–65.

19. Loskutov A.B., Gardin A.I., Loskutov A.A. *Automated system for monitoring and metering of electricity*. Nizhny Novgorod: NGSTU; 2018.

20. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. *On the issue of an adaptive fire and energy tax in ensuring fire safety*. In: Improvement of the theory and methodology of finance and taxation: Materials of International Scientific and Practical Conference. Volga Research Center. Yoshkar-Ola: Colloquium; 2012. p. 106–111.

21. *Encyclopedia of Cybernetics*. Ed. acad. Glushkov V.M. Vol. 1. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (Chief editor USE); 1974.

22. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. *Method for determining fire and electrical harm and hazardous factors of fire using an electric meter-detector*. Russian Federation Patent 2622558. 2012-09-07.

23. Belozerov V.V. Experimental methods for assessing the quality, reliability and safety of electrical appliances. *Technologies of technosphere safety*. 2009; 5. Available from: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-5/09-05-09.ttb.pdf [Accessed 10th April 2021].

24. Belozerov V.V., Lyubavsky A.Yu., Oleinikov S.N. *Models for diagnostics of reliability and safety of SVT and ACS of technosphere objects*. Moscow: Publishing House of the Academy of Natural Sciences; 2015. 130 p.

25. Belozerov V.V. On the expediency of revising the main fire standards. In: Proceedings of Annual International Scientific and Technical Conference "Security Systems-2014". Moscow: AGPS EMERCOM of Russia; 2014. p. 274–282.

26. Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Nguyen T.A., Topolsky N.G. Nanotechnology for testing and diagnostics of materials, structures and elements of engineering systems of buildings with fire retardant coatings. Part 1. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(3): 174–184. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184.

27. Builo S.I., Belozerov V.V., PrusYu.V. Combined thermogravimetric and acoustic emission diagnostics of the stages of thermal destruction of substances and materials. *Defektoskopiya*. 2008; 44(3): 71–74. Available from: doi: 10.1134/S1061830908030078.

28. Belozerov VV, Belozerov Vl. V. *Baro-electro-thermo-acoustic method of analysis of substances and materials and BETA-analyzer, which implements it*. In: Fundamental foundations of physics, chemistry and dynamics of science-intensive technological systems for forming and assembling products: Proceedings of the Scientific Symposium of Mechanical Engineers. Rostov-on-Don: DSTU; 2019. p. 298–306.

29. Belozerov V.V., Oleinikov S.N. On spatio-temporal statistical analysis of fires. *Modern problems of science and education*. 2013; 4: 58.

30. Oleinikov S.N. *Electricity meter – fire and electrical hazard detector*. Russian Federation Patent 2013117242. 2013-16-04.

31. Belozerov V.V., Dolakov T.B., Oleinikov S.N., Perikov A.V. Synergetics of life safety in the residential sector. Moscow: Publishing house of the Academy of Natural Sciences, 2017. Available from: doi: 10.17513/np.283.

32. Belozerov V.V., Dolakov T. B. *Synergetics of automation of protection of the residential sector in rural areas*. In: Innovations and engineering in the formation of investment attractiveness of the region: Proceedings of the II Open International Scientific and Practical Forum. Rostov-on-Don: DSTU, SFedU; 2017. p. 362–371.

33. Bely V.V. Electromagnetic compatibility of elements of power supply systems containing reactive power compensation devices. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2009; 6(56); 62–65.

34. Condensing unit for reactive power compensation – KRM 0.4. Moscow: LLC AllianceEnergoService; 2014.

35. Belozerov V.V., Dolakov T.B., Belozerov Vl.V. On safety and prospects of electrical heating in individual residential buildings. *Modern science-intensive technologies*. 2017; 11: 7–13.

36. Shishkin S.A. Compensation of reactive power and electricity losses in rural distribution networks 6(10)/0.4 kV. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2003; 10: 21–23.

37. Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation. RD 34.20.185-94. *Instructions for the design of urban electrical networks*. Moscow; 1995.

38. Perikov A.V. Model of an automated microsystem for suppressing fire-electric harm. *International student scientific bulletin*. 2018; 3-3. Available from: http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=18323 (Accessed 3rd April 2021).

39. Melent'ev V.S., Baskakov V.S., Shutov V.S. *Method for determining the power factor*. Inventor's Certificate (USSR) No. 1679401 A1, G 01R21 / 00. 1989-07-18.

40. Belozerov V.V., Denisov A.N., Dolakov T.B., Voroshilov I.V., Nikulin M.A., Oleinikov S.N., Belozerov V.V. *Method for early and authenticity detection of hazardous factors of fire, with of suppression of fire-energy harm in residential premises*. Application for invention RU 2021122049 of 2021-04-27.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery V. Belozerov, Doct.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6999-7804, e-mail: safeting@mail.ru

Vladimir V. Belozerov, Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4758-1036, e-mail: isagraf@mail.ru

Timur B. Dolakov, Applicant, Department of Automated Systems and Information Technologies, Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7143-5608, e-mail: dolakov23@gmail.com

Mikhail A. Nikulin, Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7756-3456, e-mail: pojar_2003@mail.ru

Sergey N. Oleinkov, Cand.Sci.(Eng.), Deputy Head of the Faculty of Training Scientific and Pedagogical Personnel, Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8316-075X, e-mail: osn-fire@bk.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 15.03.2021.
Revised: 04.04.2021.
Accepted: 08.04.2021.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107
УДК 697.97+614.844:614.838
Тип статьи: Оригинальная статья

Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть 1

В.В.Белозеров[1]*, Вл.В.Белозеров[1], Т.Б. Долаков[2], М.А. Никулин[3], С.Н. Олейников[2]

[1] ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Москва, Россия
[3] ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Россия

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

РЕЗЮМЕ: Введение. В настоящее время и за рубежом, и в России наблюдается «повальная цифровизация» не только определенных видов деятельности, но и объектов техносферы, например, «умных домов», «безопасных городов» и т.д. Однако «создатели» указанных объектов нарушили главный принцип автоматизации академика В.М. Глушкова, который гласит: нельзя автоматизировать беспорядок. Именно поэтому в настоящей статье предпринята попытка «устранения беспорядка» в автоматизации инженерных систем жилого сектора.

Методы, модели и средства. На основе анализа инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов, в результате функционирования которых осуществляется не только доставка «благ жизнеобеспечения», но и возникает пожарно-энергетический и экологический вред, разработана методология «интеллектуализации» средств учета поставляемых ресурсов на предмет диагностики и подавления пожарно-энергетического вреда с помощью современных нанотехнологий и предотвращения таким образом пожаров и взрывов в жилом секторе.

Результаты и обсуждение. Методология «интеллектуализации» построена на результатах системного анализа «функционирования жилого сектора» (многоквартирных зданий и индивидуальных жилых домов), который позволил «обнаружить» диалектическое единство благ и вреда от потребляемых энергоресурсов (электроэнергии, бытового газа, горячей и холодной воды), а также осуществить системный синтез нанотехнологий и средств «выделения и подавления» - пожарно-энергетического вреда. Новизна исследования защищена патентами РФ.

Заключение. Предлагаемый подход позволяет «устранить беспорядок перед автоматизацией» инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов путем «интеллектуализации» приборов учета и оптимизации нанотехнологий подавления пожарно-энергетического вреда, приносящего социально-экономические потери.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматизация, инженерные системы зданий, пожарно-энергетический вред, диагностика пожаровзрывоопасности, электросчетчик-извещатель, компенсатор реактивной мощности, мембранный сепаратор воздуха, термомагнитный сепаратор воздуха.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.И. Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 95–107. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно статистическим данным ВНИИ противопожарной обороны МЧС России, ежегодно около 70% пожаров происходит в жилом секторе страны [1]:

- в 1–2 этажных зданиях – до 125 тыс. пожаров и до 10 тыс. погибших,
- в 3–5 этажных зданиях – около 20 тыс. пожаров и около 2 тыс. погибших,
- в 6–9 этажных зданиях – около 16 тыс. пожаров и до 1 тыс. погибших,
- в 10–25 этажных зданиях – около 10 тыс. пожаров и около 500 погибших,
- в зданиях более 25 этажей – около 30 пожаров и до 10 погибших.

© Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.И., 2021

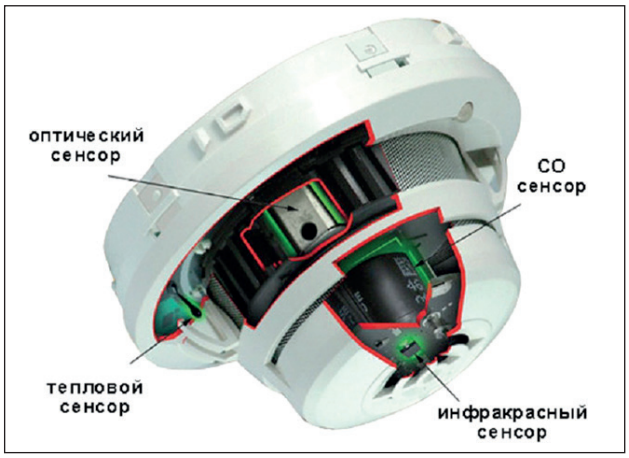


Рис. 1. **Мультидатчик**

Если ввести понятие «вероятности гибели от этажности здания», т.е. отношения числа погибших к этажности, то в высотных зданиях она в 4,16 раза выше, чем 1–2 этажных. И это несмотря на то, что в зданиях выше 10 этажей предусмотрены капитальные противопожарные меры (незадымляемые лестничные клетки и т.д.)[2].

Во многих странах мира (США, Германия, Польша, Россия и др.) в последние десятилетия получили распространение автономные пожарные извещатели (АПИ), устанавливаемые в защищаемых помещениях, которые выдают при обнаружении признаков пожара прерывистый сигнал тревоги с уровнем звукового давления 85–90 дБ на расстоянии 1 м от извещателя. Статистика свидетельствует, что применение АПИ позволяет снизить число погибших на пожарах в жилом секторе в ночное время на 45% [3].

Известны многие способы и устройства обнаружения загораний, реализующие эти способы [4]:

- Дымовые пожарные извещатели – ионизационные и оптические;
- Тепловые пожарные извещатели – пороговые и аналоговые;
- Пламенные пожарные извещатели – оптические и на основе использования ультрафиолетового или инфракрасного излучения;
- Газовые пожарные извещатели – на продукты горения, включая селективные линейные.

Наиболее эффективными из них являются извещатели, сочетающие в себе фотоэлектрические, тепловые и газовые чувствительные элементы. Подобные типы мультидатчиков (рис. 1) применяются уже длительное время, используя очень простые («или-или») и комбинированные («и-и-или-и») способы принятия решения в случае срабатывания чувствительных элементов [5–8].

Дело в том, что за рубежом используются разные модели температурного режима развития пожара. Так, например, первый американский стандарт (сейчас E119) был опубликован в 1918 году, и его стандартная кривая почти идентична кривой британского стандарта (BS), опубликованного в 1932 году (рис. 2а), которая описывается формулой [9]:

$$T = To + 345\log(0{,}133t + 1), \quad (1)$$

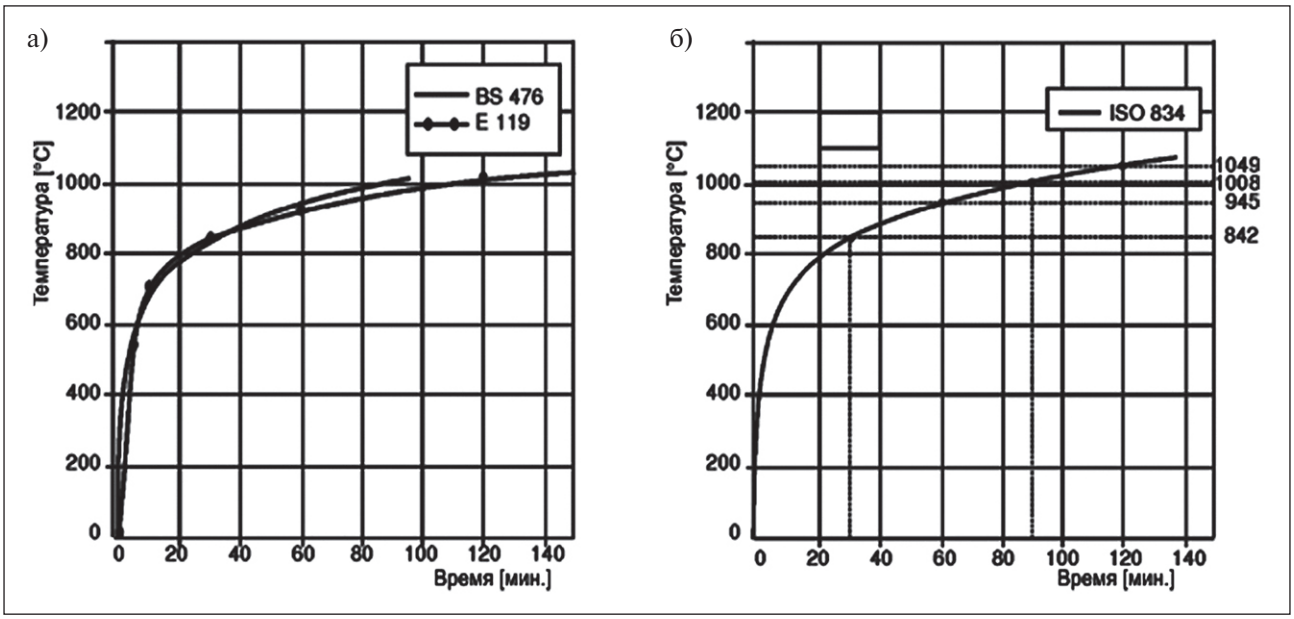


Рис. 2. **Температурные кривые стандартов США и Великобритании (а) и Европы (б)**

где T – температура в помещении, °С; To – температура в помещении на момент загорания, С; t – время, сек.

Стандартная температурно-временная кривая пожара в помещении ISO 834 (рис. 2б) описывается системой [9]:

$$T = \begin{cases} T_0 + 504t^{0.141} & \text{при t < 10 минут} \\ T_0 + 345\log(8\tau + 1) & \text{при t > 10 минут.} \end{cases}$$

В нашей стране общепринятое моделирование температурного режима развития пожара осуществляется по уравнению[10]:

$$T = 345\lg(8t + 1) + To, \qquad (2)$$

где T – температура, °С; t – время, мин., To – температура в помещении на момент загорания, °С.

Как следует из графика уравнения (2), производная от него (рис. 3) не имеет ни максимумов, ни минимумов, т.к. является гиперболической функцией, асимптотически приближающейся к оси «t». Это не позволяет с помощью теплового сенсора однозначно выделить начальную стадию пожара, что приводит к многочисленным ложным срабатываниям тепловых пожарных извещателей [3, 4].

Нормированные значения (табл. 1) опасных факторов пожара (ОФП) и графики функций их основных компонент (рис. 4–6), полученные с помощью программы INTMODEL (численного решения системы дифференциальных уравнений методом Рунге–Кутта–Фельберга 4–5 порядка точности с переменным шагом) позволяют сделать следующее предположение: если дополнить тот же мультидатчик (рис. 1) кислородным сенсором, то можно идентифицировать возникновение пожара на начальной

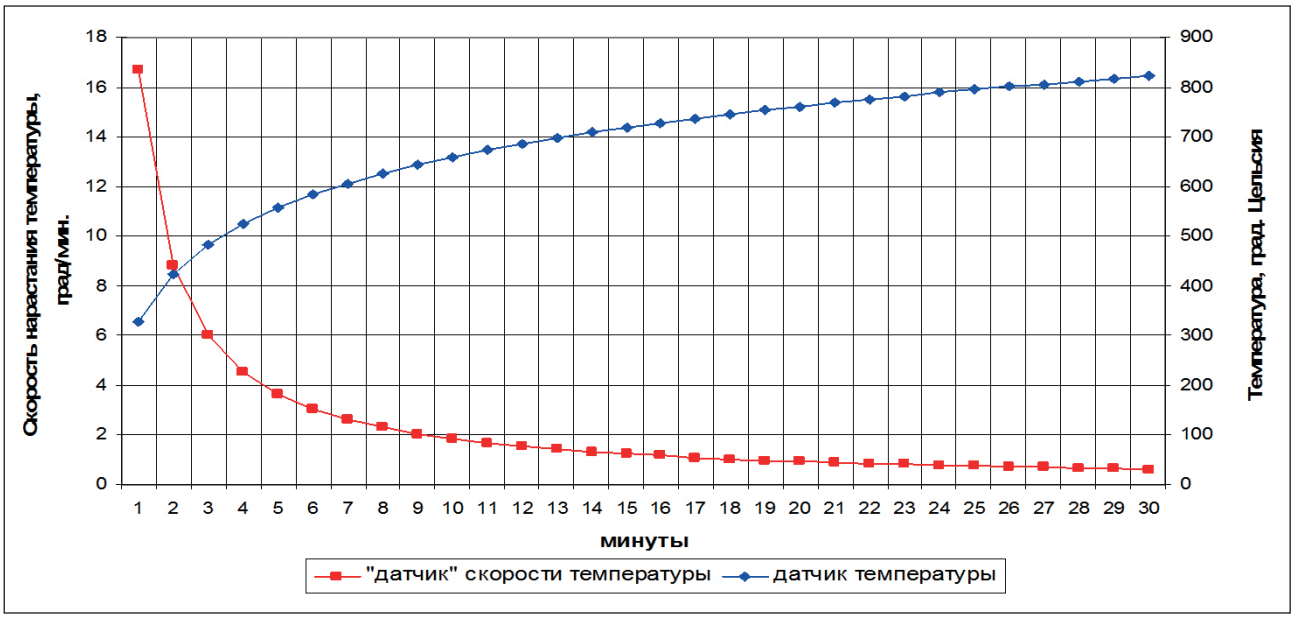
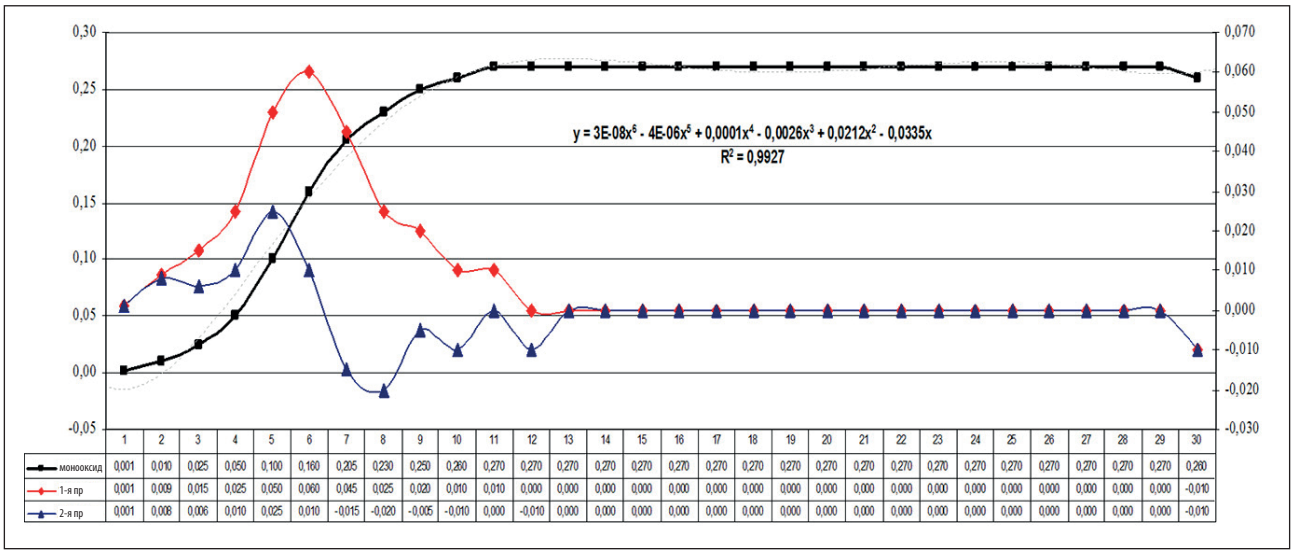


Рис. 3. **Графики «стандартного пожара»**

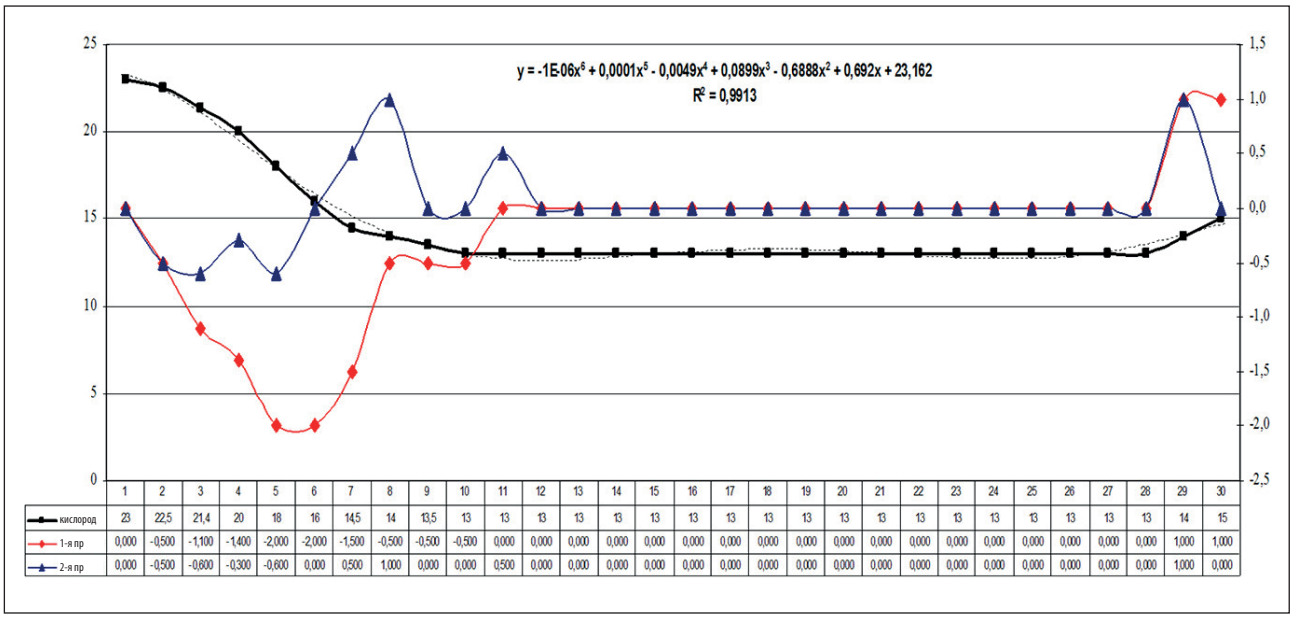
Table 1

№, п/п	Опасный фактор пожара	Предельное значение
1	Окись углерода (угарный газ) – CO	1,16 г/м^3 (0,1% объема)
2	Двуокись углерода (углекислый газ) – CO_2	0,00011 г/м^3
3	Хлористый водород	0,000023 г/м^3
4	Температура	70°С
5	Интенсивность теплового излучения	1,4 кВт/ м^2
6	Концентрация кислорода	15%
7	Предельная видимость в дыму	20 м



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
монооксид	0,001	0,010	0,025	0,050	0,100	0,160	0,205	0,230	0,250	0,260	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,280
1-я пр	0,001	0,009	0,015	0,025	0,050	0,060	0,045	0,025	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,010
2-я пр	0,001	0,008	0,006	0,010	0,025	0,010	-0,015	-0,020	-0,005	-0,010	0,000	-0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,010

Рис. 4. **График зависимости среднеобъемной концентрации монооксида углерода**



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
кислород	23	22,5	21,4	20	18	16	14,5	14	13,5	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	15
1-я пр	0,000	-0,500	-1,100	-1,400	-2,000	-2,000	-1,500	-0,500	-0,500	-0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
2-я пр	0,000	-0,500	-0,600	-0,300	-0,600	0,000	0,500	1,000	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000

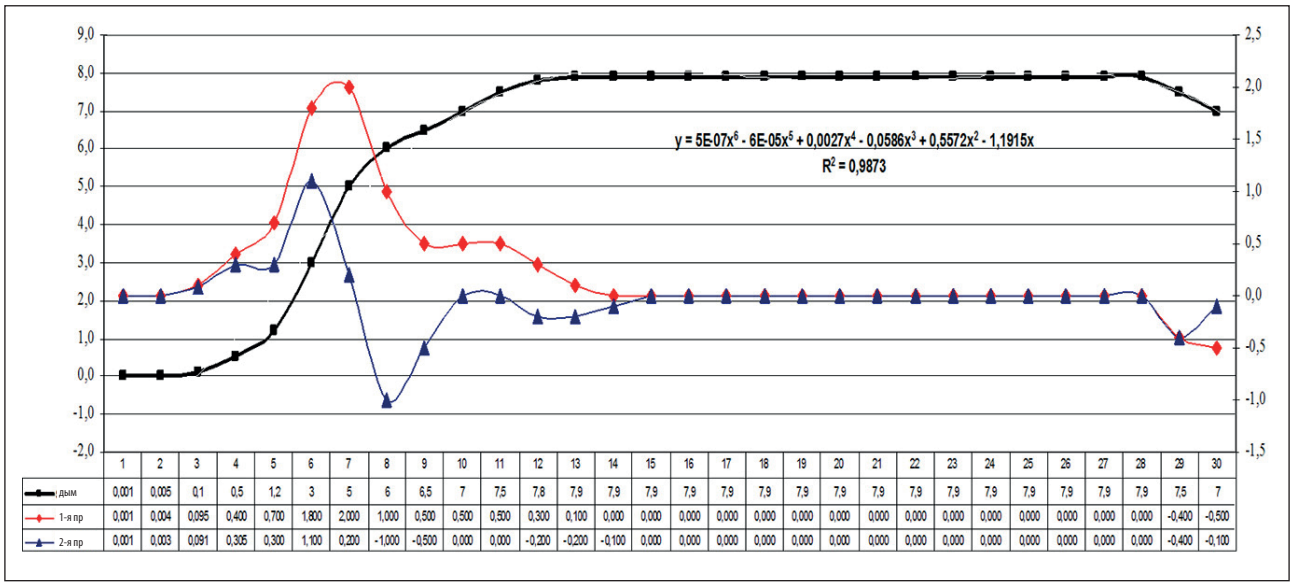
Рис. 5. **График зависимости среднеобъемной концентрации кислорода**

стадии загорания в связи с наличием экстремумов на ней [10–12].

Однако применение такого мультидатчика с вычислением указанных экстремумов (рис. 4–6) все равно будет обладать большой инерционностью, т.к. он зарегистрирует опасные факторы пожара или взрыва (ОФПВ), когда «они дойдут» до чувствительных элементов, которые, как правило, устанавливаются на потолках, в связи с чем «приход к ним» ОФПВ составляет от нескольких единиц до десятков минут [7]. Поэтому для раннего обнаружения ОФПВ был изобретен аспирационный способ [13] и система, его реализующая, обычно называемые «проточными» (рис. 7).

Сущность способа заключается в том, что стандартные датчики устанавливаются в камере, соединенной с трубопроводом со специальными отверстиями, который охватывает защищаемые помещения, и через него вентилятором «прокачивается» воздух защищаемого помещения. То есть если возникают ОФПВ, то они «втягиваются в датчики» и обнаруживаются быстрее на порядок [4, 13].

В то же время проведенными исследованиями установлено, что низкое качество потребляемой



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
дым	0,001	0,005	0,1	0,5	1,2	3	5	6	6,5	7	7,5	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,5	7
1-я пр	0,001	0,004	0,095	0,400	0,700	1,800	2,000	1,000	0,500	0,500	0,500	0,300	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,400	-0,500
2-я пр	0,001	0,003	0,091	0,305	0,300	1,100	0,200	-1,000	-0,500	0,000	0,000	-0,200	-0,200	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,400	-0,100

Рис. 6. **График зависимости среднеобъемной оптической плотности дыма**

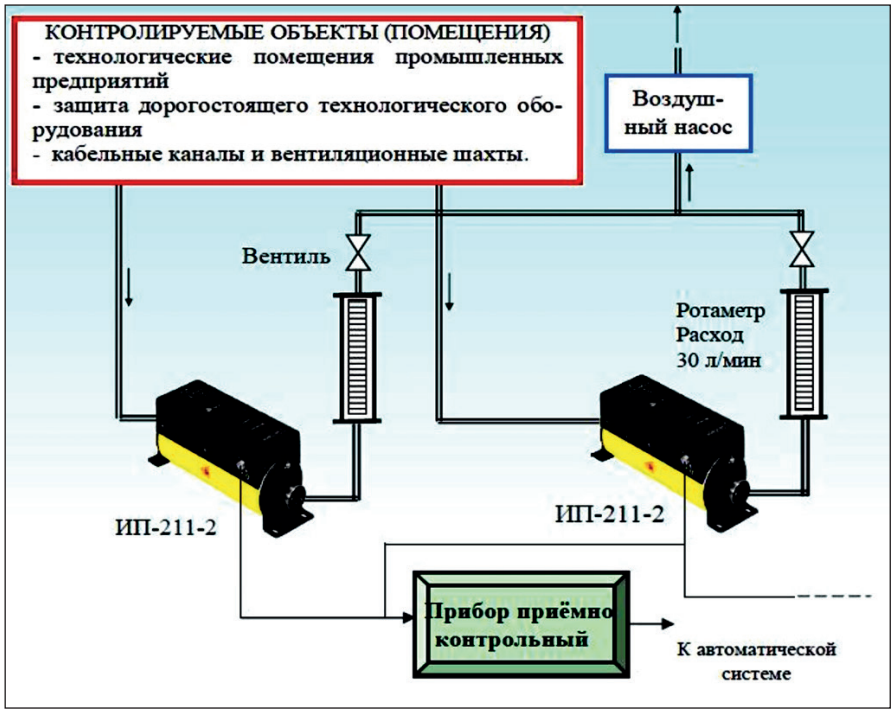


Рис. 7. **Аспирационная система пожарной сигнализации**

электроприборами электроэнергии (например, пониженное или повышенное напряжение, фазовый сдвиг тока и напряжения и т.д.) уменьшает технический ресурс бытовых электроприборов и создает условия для возникновения в них пожароопасных отказов, т.е. увеличивает вероятность пожаров по электротехническим причинам [14].

Одним из первых изобретений в области определения «долей качественной и некачественной» потребляемой электроэнергии явился «Статистический анализатор качества и учета расхода электроэнергии» [15], где при измерении и оцифровке кривой переменного напряжения сети осуществлялось выделение отклонений от установленных стандартом

значений [16], которые запоминались и по истечении требуемого времени (сутки, неделя, месяц) определялись по формуле:

$$W = W_д + W_{нд}, \quad (3)$$

где W – общее количество электроэнергии, отпущенной потребителю за время T; $W_д$ – количество израсходованной электроэнергии при допустимых отклонениях; $W_{нд}$ – количество израсходованной электроэнергии при недопустимых отклонениях.

В настоящее время выпускается ряд приборов, регистрирующих качество получаемой и используемой электроэнергии, например, отечественный прибор LPW-305 или стационарный анализатор количества и качества электрической энергии Circutor серии CVM, которые обеспечивают измерения, обусловленные стандартами показателей качества электроэнергии (ПКЭ), необходимые для вычисления и визуализации доли качественной электроэнергии [16, 17]:

- размах изменения напряжения,
- установившееся отклонение напряжения,
- доза фликера,
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения,
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения,
- коэффициент не симметрии напряжений по нулевой последовательности,
- коэффициент не симметрии по обратной последовательности,
- длительность провала напряжения,
- отклонение частоты,
- коэффициент временного перенапряжения,
- импульсное напряжение.

Казалось бы, введение «интеллекта» в электросчетчик должно привести к тому, что потребители станут платить только за качественную электроэнергию, а «умные дома» [18] и внедряемые автоматизированные системы учета электроэнергии (АСКУЭ) станут основой системы качества и энергосбережения, защищающей население России от «брака в производстве и поставке» электроэнергии [19], включая изменение тарифа оплаты и штраф за поставку «некондиционного энергоресурса» [20]. Однако этого не произошло, т.к. был нарушен главный принцип автоматизации, сформулированный еще в прошлом веке академиком В.М. Глушковым в виде «запрета автоматизации беспорядка» [21].

Более того, несмотря на установленные (также в прошлом веке) закономерности возникновения пожаров от электроприборов при нарушении ПКЭ [14], а также обоснование (уже в этом веке) диалектического единства «электрических благ и пожарно-электрического вреда»,ни АСКУЭ, ни «умный дом» не решают задач пожарной безопасности объектов и его потребителей, т.к.не регистрируют «некачественность» электроэнергии, и изменение по этой причине вероятности пожара от электроприборов, т.е. пожарно-электрического вреда (ПЭВ), определяемого по формуле [22]:

$$ПЭВ = Р_э \cdot W = Р_д \cdot W_д + Р_{нд} \cdot W_{нд}, \quad (4)$$

где W – общее количество электроэнергии, отпущенной потребителю за время t; $W_д$ – количество израсходованной электроэнергии при допустимых отклонениях; $W_{нд}$ – количество израсходованной электроэнергии при недопустимых отклонениях; $Р_э$ – среднестатистическая вероятность пожара от электроприборов; $Р_д$ – вероятность пожара электроприбора при допустимых отклонениях; $Р_{нд}$ – вероятность пожара электроприбора при недопустимых отклонениях.

Системный анализ такого подхода показал, что указанные в формуле (4) вероятности должны обновляться энергонадзором ежегодно, с использованием данных МЧС России по статистике пожаров на объектах по электротехническим причинам. Такое взаимодействие обусловлено, во-первых, тем, что вероятности отказов электроприборов имеют нелинейный характер, зависящий от условий эксплуатации электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в них, интенсивности отказов которых описываются уравнением Аррениуса–Эйринга [23]:

$$\lambda = A(P,V,N,F)\frac{kT\cdot}{h}\cdot\exp\cdot\left(-\frac{E_a}{kT}\right)\cdot\exp\cdot\left[f(H)\right], \quad (5)$$

где λ – текущая интенсивность отказа элемента, 1/час; $A = k_i \cdot \lambda_o$ – произведение безразмерных коэффициентов, зависящих от давления, влажности, вибраций и т.д. на интенсивность отказов при хранении (λ_o), 1/час; k – постоянная Больцмана, $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура элемента, °K; h – постоянная Планка, $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж • с; E_a – эффективная энергия активации отказа, Дж; f(H) – функция нетермической (энергетической) нагрузки.

Во-вторых, взаимодействие обусловлено тем, что пожароопасные отказы (короткое замыкание, обрыв, электропробой) скрыты, как минимум, на порядок «глубже» параметрических отказов, описываемых уравнением (5), что требует специальных методов их определения [23, 24]:

$$\begin{cases} Ze = \sqrt{2\lambda_B \frac{RT_П^2}{E_a} \cdot H \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_П}\right)}; \\ Se = \frac{Q \cdot V}{S \cdot \alpha} \cdot \frac{E_a}{RT_{ПО}^2} \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{ПО}}\right); \\ F_к = \frac{Q \cdot r^2}{\lambda_О} \cdot \frac{E_a}{RT_О^2} \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_О}\right); \end{cases}, \quad (6)$$

где Ze – критерий Зельдовича (критическая плотность теплового потока); λ – коэффициент теплопроводности газовой фазы; R – газовая постоянная; Тп – температура печи; E_a – энергия активации пиролиза образца; H – тепловой эффект реакции в газовой фазе; K – предэкспонент; Se – критерий Семенова (Se = 0,368); Q – теплота, подведенная к образцу; V – текущий объем образца; S – текущая площадь поверхности образца; α – текущий коэффициент теплоотдачи образца; Тпо – температура поверхности образца; Fк – критерий Франк-Каменецкого (Fк = 2,00); r – линейный размер образца; λо – коэффициент теплопроводности образца; То – температура образца.

В-третьих, и это-главное, воспламенение ЭРЭ и загорание электроприбора при пожароопасном отказе описывается системой нелинейных уравнений Семенова, Зельдовича и Франк-Каменецкого (6), в которые входят не латентные показатели пожарной опасности веществ и материалов (группы горючести, степени огнестойкости и т.д.), из которых сделаны ЭРЭ, а их физико-химические характеристики [25], включая защитные покрытия [26], которые можно определить БЭТА-анализатором [22, 27, 28]

Поэтому определение указанных в формуле (5) вероятностей возможно только при использовании баз данных статистики пожаров МЧС России в каждом конкретном регионе, а также их обработки методом анализа временных рядов [29], и реализовать такой подход в жилом секторе можно только с помощью «интеллектуализации» электросчетчиков [30] при взаимодействии энергонадзора и госпожнадзора [31].

МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВРЕДА

Принимая во внимание вышеизложенное, очевидным решением, т.е. «устранением беспорядка в энергоснабжении», явилась разработка метода определения пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара с помощью электросчетчика-извещателя (ЭСИ), защищенного патентами РФ [22, 30], путем комплексирования теплового, дымового и газового (оксида углерода) датчиков в камеру ЭСИ, которая соединялась с аспирационной системой, что позволило обеспечить раннее обнаружение пожара в квартире или индивидуальном жилом доме, где ЭСИ установлен (рис. 8), а также включить звуковое оповещение о пожаре и передать вызов в ближайшую пожарную часть по радиоканалу или средствами сотовой связи [31].

Однако для нормального функционирования электроприборов в жилом секторе и обеспечения их пожарной безопасности, особенно в сельской местности, где ПКЭ постоянно нарушаются [31, 32], недостаточно одного контроля за качеством потребляемой электроэнергии – целесообразно автоматически «сглаживать некачественность доставки» электроэнергии потребителю, т.е. улучшать ПКЭ в месте потребления электроэнергии, что успешно выполняется регуляторами реактивной мощности [33, 34].

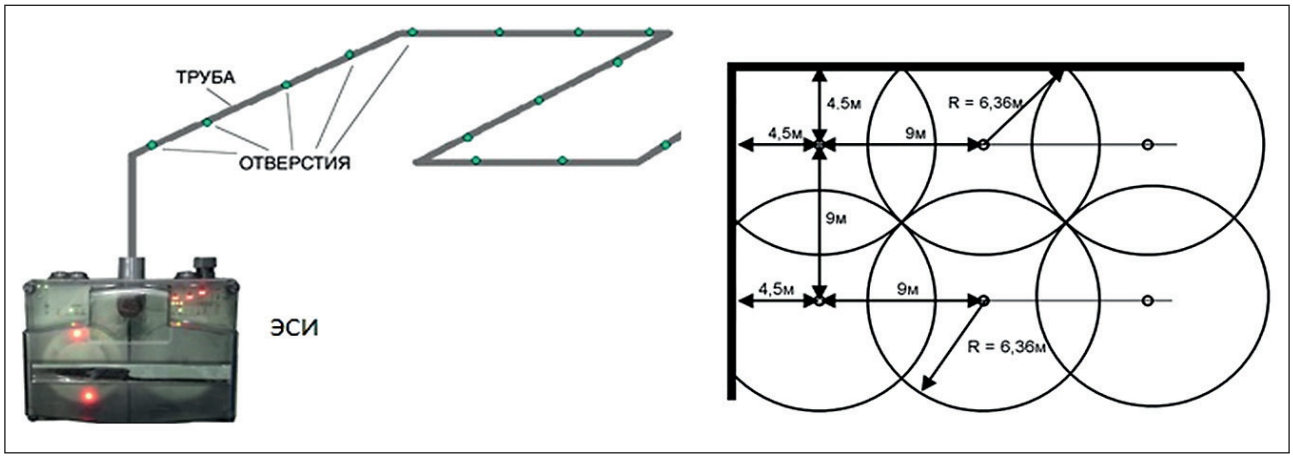


Рис. 8. **Схема аспирации с ЭСИ**

Контакторные конденсаторные установки получили наиболее широкое распространение в силу более простой реализации и низкой стоимости по сравнению с тиристорными конденсаторными установками. Однако если нагрузка имеет резко переменный характер, то для компенсации реактивной мощности применяются тиристорные конденсаторные установки, т.к. они, во-первых, обладают наиболее высоким быстродействием, а во-вторых, коммутация конденсаторов в них происходит при нулевом значении тока, что значительно увеличивает срок службы как конденсаторных батарей, так и всей установки в целом. При этом по месту подключения различают следующие схемы компенсации реактивной мощности [33, 34]:

- общая – на вводе объекта (предприятия, микрорайона и т.д.);
- групповая – на линии электроснабжения группы однотипных потребителей (группа жилых домов и т.д.);
- индивидуальная – конденсаторная установка устанавливается в непосредственной близости к потребителю с низким косинусом «фи».

В жилом секторе, особенно в сельской местности, индивидуальная схема компенсации более предпочтительна, т.к. позволяет компенсировать реактивную мощность непосредственно в месте ее возникновения и потребления электроэнергии, не вызывая перетока реактивной энергии в линиях электропередач, и в случае неизменности коэффициента мощности потребителя полностью компенсировать реактивную мощность с помощью конденсаторной батареи. При этом возможно реализовать и поперечную, и продольную компенсацию [35, 36].

Учитывая, что в последнее время в структуре домашней бытовой техники начинают преобладать электробытовые приборы с электродвигателями (холодильники, стиральные машины, сплит-системы, пылесосы, электромясорубки и т.д.), и характер нагрузки в жилом секторе стал преимущественно активно-индуктивным, целесообразно использовать конденсаторные компенсаторы (рис. 9) реактивной мощности (ККРМ), основными достоинствами которых являются [33, 34]:

– малые потери активной энергии (в рамках 0,3–0,45 кВт/100 квар);
– незначительная масса (не требует фундамента);
– несложная и недорогая эксплуатация;
– увеличение или уменьшение количества подключаемых конденсаторов в зависимости от изменения косинуса угла сдвига напряжения и тока;
– компактность, дающая возможность монтажа установки в любом месте (рядом с электрооборудованием, электросчетчиком и т.д.).

Рис. 9. **Конденсаторный компенсатор реактивной мощности (ККРМ)**

Кроме поддержания установленного коэффициента мощности и «сглаживания» колебаний фазного напряжения, тока и генерации реактивной энергии в часы минимальных и максимальных нагрузок (рис. 10) компенсаторы реактивной мощности [33, 34]:

- постоянно отслеживают изменение количества реактивной мощности в компенсируемой цепи;
- исключают перекомпенсацию и ее следствие – перенапряжение в сети;
- проводят мониторинг главных показателей компенсируемой сети;
- проверяют работу всех элементов ККРМ и режим его работы.

Многие авторы считают, что применение ККРМ в однофазных бытовых сетях не эффективно потому, что индивидуальные «однофазные потребители» оплачивают только активную мощность, а компенсация реактивной мощности снижает общее потребление на единицы процентов [36]. При этом нормативные документы также не требуют, чтобы в жилых и общественных зданиях предусматривалась компенсация реактивной нагрузки [37].

Однако с точки зрения возникновения пожарно-электрического вреда достигаемое в этом случае «сглаживание» напряжения и тока позволяет более чем на порядок снизить вероятность пожароопасных отказов в бытовых электроприборах, а следовательно сократить число пожаров и социально-экономических потерь от них [2, 14, 31, 38].

Для автоматического управления компенсацией реактивной мощности, т.е. подключением/отключением конденсаторов в батарее (рис. 11) использован

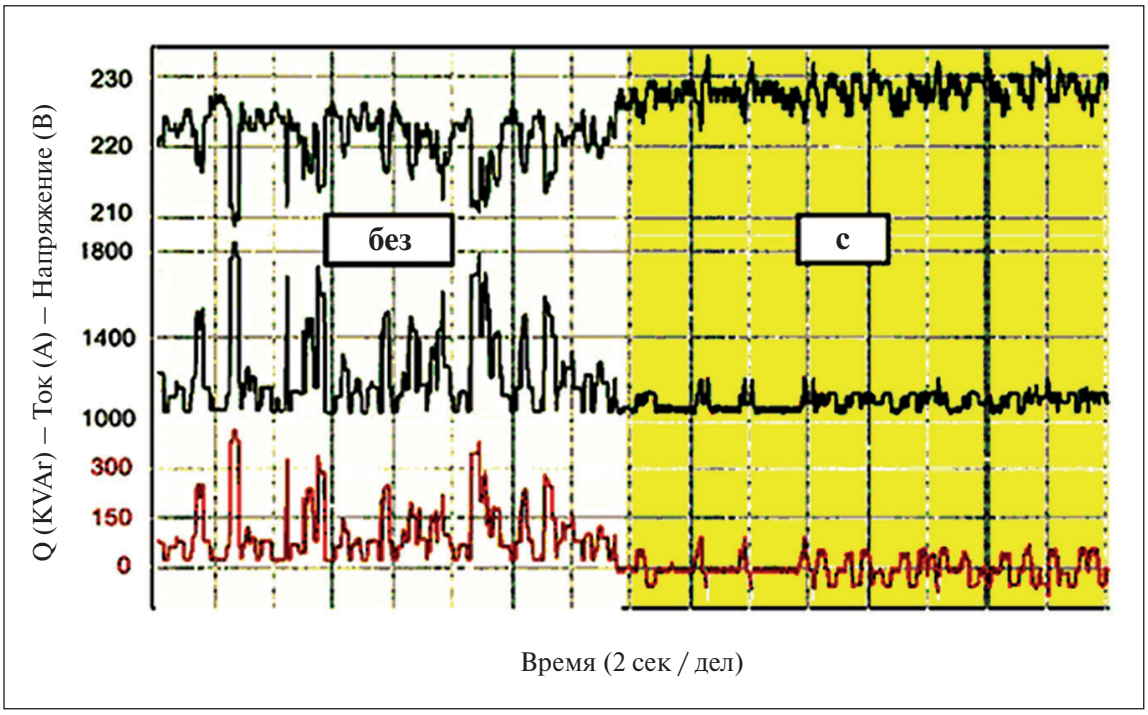


Рис. 10. **Графики напряжения, тока и потребляемой мощности с ККРМ и без него**

следующий способ определения текущего косинуса «фи», защищенный авторским свидетельством [39]:

$$\cos\varphi = \frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2\sqrt{U_2^2 - U_3U_1}} \cdot \frac{2I_2^2 - I_3I_1 - I_1^2}{2I_2\sqrt{I_2^2 - I_3I_1}} + \\ + \left[\pm\sqrt{1 - \left(\frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2\sqrt{U_2^2 - U_3U_1}}\right)^2}\right] \cdot \left[\pm\sqrt{1 - \left(\frac{2I_2^2 - I_3I_1 - I_1^2}{2I_2\sqrt{I_2^2 - I_3I_1}}\right)^2}\right], \quad (7)$$

где U1, U2, U3 – мгновенные значения фазного напряжения потребляемой электроэнергии через равноотстоящие промежутки времени в течение полупериода; I1, I2, I3 – мгновенные фазного значения потребляемого тока через те же равноотстоящие промежутки времени.

Каждый конденсатор КПС-0.55-0.41-2У3 емкостью 10 мкф подключается оптосимисторами МОС3041, а управление оптосимисторами МОС3041 осуществляется путем подачи от цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) контроллера определенного уровня напряжения (0,4 В, 0,8 В, 1,2 В...4 В) на затворы всех полевых транзисторов 2П304А. Режимы 2П304А выбраны так, что при уровне 0,4 В открывается 1-й транзистор, что приводит к «зажиганию»

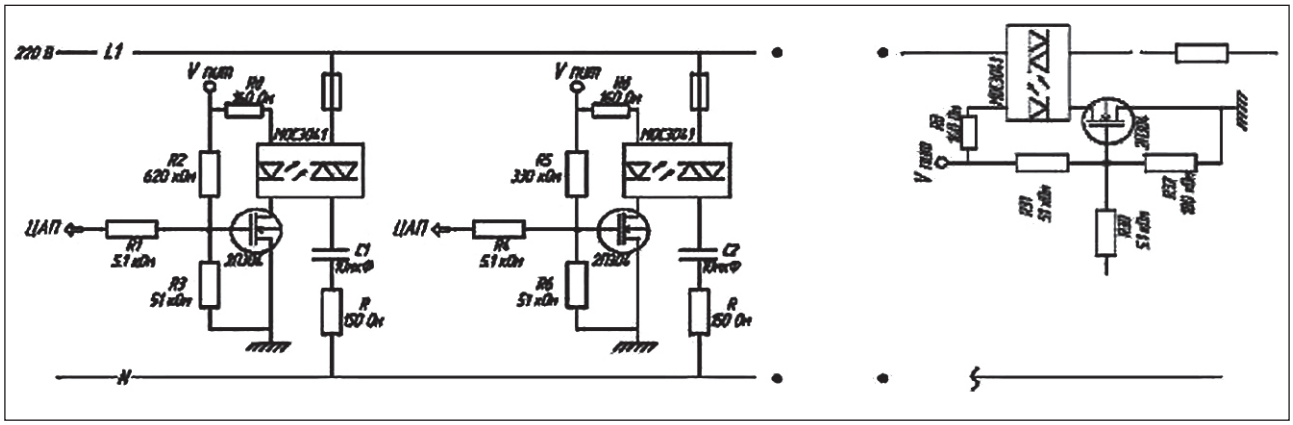


Рис. 11. **Принципиальная схема блока управления конденсаторами для одной фазы**

светодиода 1-го симистора и подключению первого конденсатора 10 мкФ, при уровне 0,8 В – первого и второго и т.д., вплоть до 4 В, при котором подключаются все 9 конденсаторов, т.е. суммарная емкость батареи составляет 90 мкФ. Для обеспечения такого «ступенчатого управления» были рассчитаны делители из сопротивлений, устанавливающие необходимые рабочие режимы полевых транзисторов для однофазной сети, с учетом ограничения для цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) величины нагрузки, включая последний каскад (рис. 11), который управляется отдельным каналом ЦАП и служит для отключения электроснабжения квартиры/дома при пожароугрожаемом режиме потребления электроэнергии или пожаре [2, 35, 38].

Для 3-хфазной сети, которая используется в жилых высотных зданиях, достаточно установить три конденсаторные батареи по 7 конденсаторов той же емкости в каждой с аналогичным управлением каждой в отдельности, для чего потребуется шесть каналов ЦАП [2, 38].

Таким образом, дополнив ЭСИ блоком компенсации реактивной мощности (БКРМ), получим (рис. 12) электросчетчик-извещатель-подавитель (ЭСИП) ПЭВ, т.е. уменьшение второго слагаемого в формуле (4) и снижения тем самым из-за некачественной электроэнергии, вероятности пожара от всех электроприборов в жилом секторе [2, 14, 24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный электросчетчик-извещатель-подавитель (рис. 12) содержит в своем корпусе:

– камеру с всасывающим вентилятором (1) и датчиками в ней (тепловым, дымовым, кислородным и оксида углерода), соединенную с трубопроводом аспирационной системы,
– контроллер (2) с многоканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), с ЖКИП-модулем визуализации (3) и GSM-радиомодемом (4),
– блок компенсации реактивной мощности (БКРМ) с блоком питания и аккумулятором.

В отличие от запатентованных решений ЭСИ [22, 30] блоки измерения потребляемой электроэнергии и ее качества, вычисления пожарно-электрического вреда и идентификации опасных факторов пожара реализованы на контроллере (2) как программные модули, выполняющие следующие функции [2, 35, 38, 40]:

– обрабатывают данные каналов АЦП, к которым подключены указанные датчики, вычисляя и записывая в реальном масштабе времени (во флэш-память и/или на флэш-карту) температуру и концентрации ОФП и кислорода [9–12] в защищаемых помещениях (в воздухе, прокачиваемом через камеру),

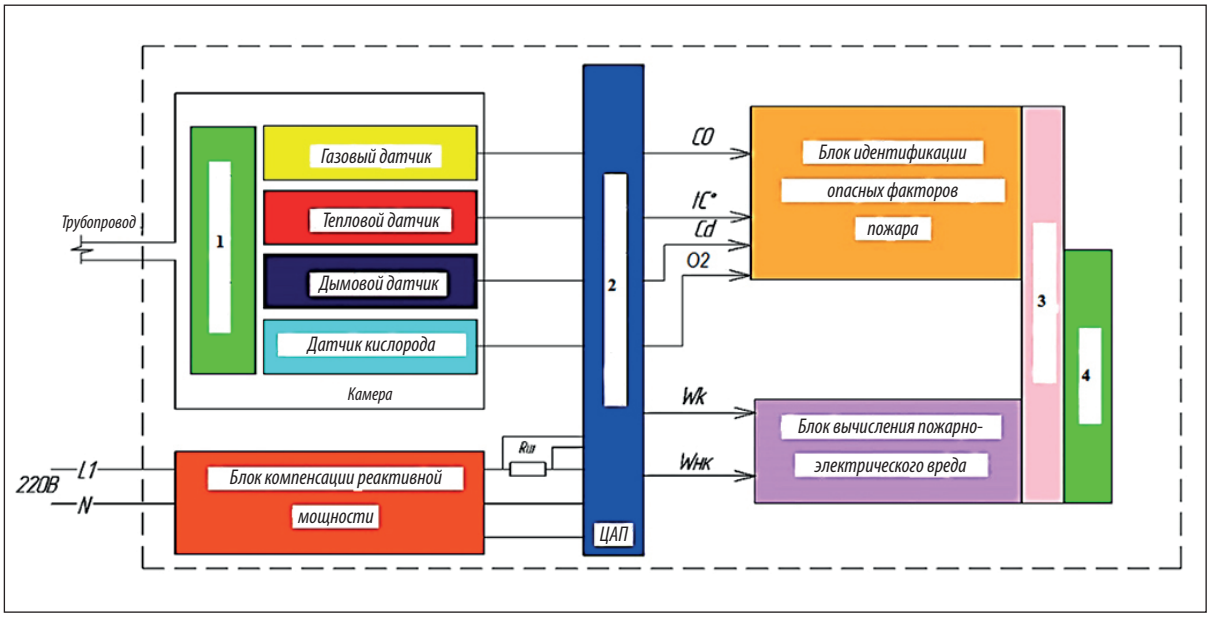


Рис. 12. **Блок-схема электросчетчика–извещателя-подавителя (ЭСИП) ПЭВ:**
1 – электровентилятор; 2 – контроллер с многоканальными АЦП и ЦАП;
3 – жидко-кристаллический индикатор с пьезо-модулем аудио-видеоинформации (ЖКИП-модуль); 4 – GSM-радиомодем

– обрабатывают данные каналов АЦП, которые подключены к токовому шунту (рис. 12) каскада отключения (рис. 11), вычисляя и записывая в реальном масштабе времени (во флэш-память и/или на флэш-карту) ПКЭ[16] и коэффициенты мощности [39], суммируя и визуализируя на ЖКИП-модуле потребляемую электроэнергию (качественную и некачественную) и усредненный текущий косинус «фи»,
– вычисляют пожарно-электрический вред (ПЭВ) по формуле (4), визуализируя его усредненное значение на ЖКИП-модуле (3), и управляют работой БКРМ, по вычисленному по формуле (5) коэффициенту мощности,
– формируют и передают с помощью GSM-радиомодема (4) в электроснабжающую и/или управляющую компанию блоки данных о потребляемой электроэнергии в соответствии с установленными временными периодами и по их запросу, а также в органы надзора (пожарный, энергетический), в пожароугрожаемых случаях, при недопустимом качестве и отключениях электроснабжения,
– идентифицируют ОФП по синхронному росту функции (2) температуры (рис. 1), функций среднеобъемной концентрации монооксида углерода (рис. 4) и среднеобъемной оптической плотности (задымления) воздуха (рис. 6) при снижении концентрации кислорода (рис. 5) в защищаемых помещениях, включают световой и звуковой сигналы тревоги, формируя и осуществляя передачу сообщения о загорании в пожарную охрану с помощью GSM-радиомодема (4), а также собственнику жилья и в управляющую компанию,
– отключают с помощью симистора (рис. 11) в БКРМ электроснабжение защищаемых помещений при пожароугрожаемом режиме потребления электроэнергии и/или при ее недопустимом качестве, а также при обнаружении ОФП в защищаемых помещениях.

Одновременно, вычисляя ПЭВ по формуле (4), программный модуль вычисляет изменения вероятностей (Рд и Рнд) и их отклонения (ΔРэ, ΔРд и ΔРнд) от среднестатистических данных, которые должен обновлять энергонадзор по данным пожарного надзора при ежегодной проверке ЭСИП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате системного анализа проблем безопасной жизнедеятельности в жилом секторе (в квартирах в жилых зданий и в индивидуальных жилых домах) городов и населенных пунктов регионов России выявлены принципиальные недостатки в организации и автоматизации учета потребляемой электроэнергии в жилом секторе.

На основе разработанного вероятностно-физического подхода в возникновении пожарно-электрического вреда (ПЭВ) в жилом секторе при потреблении электроэнергии осуществлен последовательный системный синтез способа и средств диагностики ПЭВ с нанотехнологиями его подавления с помощью электро-счетчика-извещателя-подавителя (блока компенсации реактивной мощности), который совместно с аспирационным способом обнаружения ОФП предотвращает возникновение пожара по электротехническим причинам путем своевременного отключения электроснабжения защищаемых помещений, а также обеспечивает раннее и достоверное обнаружение загорания в них из-за других причин (неосторожного обращения с огнем и т.д.).

Предлагаемый подход, по мнению авторов, призван «устранить беспорядок» в поставке и учете электроэнергии в жилой сектор, а также осуществить оптимальную автоматизацию электроснабжения и пожарной сигнализации в жилом секторе независимо от структур энергоснабжающих/управляющих компаний и территориальных аварийных и надзорных служб.

Предлагаемый метод и ЭСИП позволяют в кратчайшие сроки реализовать его внедрение с помощью реинвестиционной модели системы адаптивного пожарно-электрического налогообложения физических лиц в жилом секторе [20, 31, 32, 38].

Проведенные исследования показали, что предлагаемый поход может быть реализован на объектах торговли, здравоохранения, образования, науки и культуры [3, 12, 20–25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешалкин Е.А. Пожарная безопасность жилых зданий //Системы безопасности. – 2013. – № 1. – С. 106–109.
2. Периков А.В. Системный анализ и нанотехнологии безопасности в инженерных системах жилых высотных зданий // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 2. – С. 114–130. – DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-2-114-130.

3. Прогнозирование, анализ и оценка пожарной безопасности / Е.И. Богуславский, В.В. Белозеров, Н.Е. Богуславский. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004. – 151с.

4. Членов А.Н., Фомин В.И., Буцынская Т.А., Демехин Ф.В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 175 с.

5. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system // Information Technology Journal. – 2010. – Vol. 9, Issue 4. – P. 758–765. DOI: 10.3923/itj.2010.758.765..

6. Turgay Çelik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model // Fire Safety Journal. – 2009. – Vol. 44, Issue 2. – P. 147–158. DOI: 10.1016//j.firesaf.2008.05.005.

7. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Журавлев С.Ю., Николаев В.А. Об эффективности функционирования мультикритериального пожарного извещателя // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 12.– С. 55–60. – DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.55-60.

8. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Радиоизвещатели техносферной опасности и ее навигации с Интернет-системой их функционирования // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 2843–2853.

9. Мозговой Н.В., Зайцев А.М. Анализ функциональных зависимостей температурной кривой стандартного пожара // Научный Вестник ВГАСУ. – 2008. – № 3. – С. 196–199.

10. Кошмаров Ю. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении – М.: АГПС МВД РФ, 2000. – 118 с.

11. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд. стандартов, 1992. – 77 с.

12. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2014. – 61 с.

13. Рекомендации по применению аспирационных дымовых извещателей VESDA. – Части 1, 2, 3. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2003.

14. Белозеров В.В., Топольский Н.Г., Смелков Г.И. Вероятностно-физический метод определения пожарной опасности радиоэлектронной аппаратуры // Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: Материалы XII Всероссийской науч.-практ.конф. – М.: ВНИИПО, 1993. – С. 23–27.

15. Кушнарев Ф.А., Решетников Ю.М., Никифорова В.Н., Ермаков В.Ф. Статистический анализатор качества и учета расхода электроэнергии // Патент РФ № 2260842. – 15.07.2008.

16. ГОСТ 13109-97 Качество электрической сети. Общие требования. – М: Изд. стандартов, 1997. – 54 с.

17. Измеритель электрических параметров качества, мощности и количества электрической энергии телеметрический LPW-305 // Руководство по эксплуатации: ДЛИЖ.411722.0001 РЭ. – М: ООО «Л Кард», 2011. – 95 с.

18. Авдеев А.С., Герасимова А.И. Основные проблемы программирования систем «Умный Дом» // Перспективы науки. – 2014. – № 10 (61). – С. 62–65.

19. Лоскутов А. Б., Гардин А. И., Лоскутов А. А. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии / монография. – Н. Новгород: НГГТУ, 2018. – 84 с.

20. Белозеров В.В., Олейников С.Н. К вопросу об адаптивном пожарно-энергетическом налоге в обеспечении пожарной безопасности // Совершенствование теории и методологии финансов и налогообложения: мат-лы междунар. научно-практ. конф. Приволжский НИЦ. – Йошкар-Ола: «Коллоквиум», 2012. – С. 106–111.

21. Энциклопедия кибернетики в двух томах под ред. акад. Глушкова В.М. – Киев: АН УССР (Гл.ред.УСЭ), 1974. – Т. 1.

22. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Способ определения пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара с помощью электросчетчика-извещателя // Патент РФ № 2622558. – 07.09.2012.

23. Белозеров В.В. Экспериментальные методы оценки качества, надежности и безопасности электроприборов // Технологии техносферной безопасности. – 2009. – № 5 (27). – 9 с. – http://academygps.ru/ttb.

24. Белозеров В.В., Любавский А.Ю., Олейников С.Н. Модели диагностики надежности и безопасности СВТ и АСУ объектов техносферы – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2015. – 130 с.

25. Белозеров В.В. О целесообразности пересмотра основных пожарных стандартов // Ежегодная международная научно-техническая конференция «Системы безопасности-2014». – М.: АГПС МЧС России. – С. 274–282.

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

27. Буйло С.И., Белозеров В.В., Прус Ю.В. Совмещенная термогравиметрическая и акустико-эмиссионная диагностика стадий термодеструкции веществ и материалов // Дефектоскопия. – 2008. – Т. 44, № 3. – С. 71–74. – DOI: 10.1134/S1061830908030078.

28. Белозеров В.В., Белозеров Вл.В. Баро-электро-термо-акустический метод анализа веществ и материалов и БЭТА-анализатор, его реализующий // Фундаментальные основы физики, химии и динамики наукоемких технологических систем формообразования и сборки изделий: сборник трудов научного симпозиума технологов-машиностроителей. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2019. – С. 298–306.

29. Белозеров В.В., Олейников С.Н. О пространственно-временном статистическом анализе пожаров // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 58.

30. Олейников С.Н. Электросчетчик – извещатель пожарно-электрического вреда // Патент РФ № 135437. – 16.04.2013, опубл.10.12.2013, бюл. № 34.

31. Синергетика безопасности жизнедеятельности в жилом секторе: монография / В.В. Белозеров, Т.Б. Долаков, С.Н. Олейников, А.В. Периков. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 186 с. – DOI: 10.17513/np.283.

32. Белозеров В.В., Долаков Т.Б. Синергетика автоматизации защиты жилого сектора в сельской местности // Инновации и инжиниринг в формировании инвестиционной привлекательности региона: сб. науч. тр II Открытого международного научно-практического форума. – Ростов н/Д: ДГТУ, ЮФУ, 2017. – С. 362–371.

33. Белый В.В. Электромагнитная совместимость элементов систем электроснабжения, содержащих устройства компенсации реактивной мощности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 6 (56). – С. 62–65.

34. Конденсаторная установка компенсации реактивной мощности – КРМ 0,4. – М.: ООО «АльянсЭнергоСервис», 2014. – 18 с.

35. Белозеров В.В., Долаков Т.Б., Белозеров Вл.В. О безопасности и перспективах электрообогрева в индивидуальных жилых домах // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 11. – С. 7–13.

36. Шишкин С.А. Компенсация реактивной мощности и потери электроэнергии в сельских распределительных сетях 6(10)/0,4 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 10. – С. 21–23.

37. Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.185-94. Утверждена: Министерством топлива и энергетики РФ 07.07.94. РАО «ЕЭС России» 31.05.94. Введена в действие с 01.01.95 г.

38. Периков А.В. Модель автоматизированной микросистемы подавления пожарно-электрического вреда // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-3. – URL: http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=18323 (дата обращения: 10.03.2021).

39. Мелентьев В.С., Баскаков В.С., Шутов В.С. Способ определения коэффициента мощности. – А.С. SU № 1679401 A1, G 01R21/00 от 18.07.1989.

40. Белозеров В.В., Денисов А.Н., Долаков Т.Б., Ворошилов И.В., Никулин М.А., Олейников С.Н., Белозеров В.В. Способ раннего и достоверного обнаружения опасных факторов пожара с подавлением пожарно-электрического вреда в жилых помещениях. – Заявка на изобретение RU 2021112049 от 27.04.2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белозеров Валерий Владимирович, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Системы автоматизированного контроля» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6999-7804, e-mail: safeting@mail.ru

Белозеров Владимир Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированного контроля» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4758-1036 , e-mail: isagraf@mail.ru

Долаков Тимур Бекович, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Академия ГПС» МЧС РФ, г. Москва, Россия, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7143-5608, e-mail: dolakov23@gmail.com

Никулин Михаил Александрович, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Государственный Аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Россия, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7756-3456, e-mail: pojar_2003@mail.ru

Олейников Сергей Николаевич, к.т.н., зам. начальника факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8316-075X, e-mail: osn-fire@bk.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 15.03.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 04.04.2021.
Статья принята к публикации: 08.04.2021.

MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116
Article type: Original article

Surface activity of concrete waste powders

A.M. Ayzenshtadt, T.A. Drozdyuk*, V.E. Danilov, M.A. Frolova, G.A. Garamov
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia
*** Corresponding author:** e-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

ABSTRACT: Introduction. One of the most large-tonnage wastes of the construction industry is a concrete scrap, obtained as a result of the dismantling of buildings and structures, the service life of which has reached its maximum or requires significant capital changes. In our opinion, works on the use of the resulting dust-like fraction are of particular interest. One of the promising methodological approaches in this direction is the observance of the principles of nanotechnology, which consists of obtaining finely dispersed components as active components of the created compositions. **Materials and methods.** Therefore, the objects of research in this work were fine powders obtained by mechanical grinding of lightweight (sample 1) and heavy (sample 2) concrete of a five-story residential panel house built in 1979. The elemental composition and specific surface area of the samples were determined, thermogravimetry of the studied powder systems was carried out, the surface tension of the experimental samples and the dispersion and polarization components of this indicator were determined by the OVRK method. A new methodological approach to the determination of the surface tension of powder systems is proposed, based on the determination of the functional dependence of the surface tension on the pressing force of the prototypes. The possibility of calculating macroenergy characteristics (atomization energy, specific mass atomization energy) of waste concrete samples is shown. These physicochemical indicators characterize the potential supply of internal energy of the system, which is capable of transforming into free surface energy during mechanical destruction of the material. **Results and discussions.** Thermogravimetric analysis of experimental concrete samples showed the presence of a residual amount of belite. Calculations of the surface activity of the samples showed that it is more preferable to use a powder obtained by crushing a sample of heavy concrete as an active additive in compositions capable of exhibiting the properties of a binding agent. **Conclusions.** To assess the activity of dusty fractions of concrete scrap as a component in binding compositions of the hydration type of hardening, it is proposed to use the value of the surface activity of powder systems as a criterion. The absolute numeric value of this criterion is equal to the ratio of the values of the free surface energy of the investigated powder and the specific mass energy of atomization of the initial waste concrete. It was found that for concrete waste the value of this criterion is determined by the polarization component of surface tension.

KEYWORDS: recycled concrete, surface activity, composite binder, atomization energy, dust fraction of concrete scrap, thermogravimetric analysis.

ACKNOWLEDGMENTS: The research was carried out on the unique scientific equipment "Physical Chemistry of Surfaces of Nano-Dispersed Systems" with the financial support from Kolarctic project no. KO4068 "DeConcrete: Eco-efficient Arctic Technologies Cooperation".

FOR CITATION: Ayzenshtadt A.M., Drozdyuk T.A., Danilov V.E., Frolova M.A., Garamov G.A. Surface activity of concrete waste powders. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 108–116. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116.

INTRODUCTION

The problem of processing and reuse of industrial waste is a key global factor in improving the ecological state of the environment. This provision fully applies to the building materials industry. In addition, research in this direction also allows not only to conserve natural resources, but also to significantly reduce the cost of final building materials. One of the most large-tonnage wastes of the construction industry is a concrete scrap, obtained as a result of the dismantling of buildings and structures, the service life of which has reached its maximum. Therefore, the significant interest of research aimed at solving the problem of using various fractions of concrete scrap in building materials science is understandable [1–4].

Of particular interest are studies on the use of the resulting dust fraction. For example, the results of studies [2, 5] on the effect of the dusty part of the screenings

© Ayzenshtadt A.M., Drozdyuk T.A., Danilov V.E., Frolova M.A., Garamov G.A., 2021

of concrete scrap crushing when creating composite binders (CB) on the strength of cement stone showed that the strength of cement stone does not decrease significantly when secondary concrete dust is added to the cement. Thus, this screening exhibits the properties of a low-grade cement. However, a number of unresolved issues related to the determination of the activity of this fraction as a component of CB hinder its widespread use. This is largely due to significant time and labor-intensive costs in the traditional approach to solving this problem. At the same time, considering the pulverized fraction of concrete waste as a finely dispersed system consisting of micro- and nanosized particles with an increased energy potential, a nanotechnological approach can be applied to assess its ability to transformations. Thus, in [6–9], to determine the surface activity (k_S) of such systems, a quantitative criterion is proposed, which is calculated based on the ratio of the values of the free surface energy of a highly dispersed system and the potential energy characteristic of its macrostate.

THEORETICAL FRAMEWORK

At present, we have developed a mechanism for the experimental determination of k_S, which is numerically equal to the ratio of two characteristics: E_S/E_m. In this expression, the numerator is the free surface energy of the dispersed system (J/kg), and the denominator is the specific mass atomization energy (J/kg) of the test material. In turn, the calculation of the values of the free surface energy is carried out on the basis of the experimentally determined values of the specific surface of the investigated fine powder (S_{sp}, m^2/kg) and its surface tension (σ, J/m^2) [10–12] is equal to:

$$E_S = \sigma \bullet S_{уд}. \quad (1)$$

If there are practically no problems with the choice of the method for determining the specific surface area of highly dispersed powders (accurate and reproducible results are obtained by methods based on the BET theory and implemented by cryogenic adsorption of nitrogen on analytical systems Autosorb [13–15]), then the determination of surface tension (specific surface energy) of powder systems, for example, by the OVRK (Ouns, Wendt, Rabel and Kjellble) method [10, 11] requires the use of exact recommendations worked out for such standard fluids as decane, glycerin, water [16].

The specific mass energy of atomization is the algebraic sum of the standard enthalpies of formation of chemical compounds (atomization energy, E_a, J/mol) that make up the prototype taking into account their molecular (formula) masses (M, mol/kg) [17, 18]:

$$E_m = E_a/M. \quad (2)$$

Standard enthalpies of formation of basic chemical compounds (in terms of their oxides) are presented in the corresponding reference literature [19–22]. Therefore, it seemed interesting to carry out a comparative analysis of the surface activity of the test samples of the dust-like fraction of concrete waste obtained after preliminary grinding of macro-samples to a specific surface close to that of a hydraulic cement (300 m^2/kg). These values of the specific surface area of Portland cement are determined by the Kozeny-Karman gas permeability method using an installation, for example, PSH-10a.

In addition, the results of thermogravimetric analysis (TGA) of prototypes can represent significant results in terms of the scientific substantiation of the validity of the criterion used. This fact can be associated with the determination of the residual content of non-hydrolyzed calcium silicates during concrete hardening [5, 23, 24, 25]. These minerals, by mechanoactivation of the analyzed samples to a sufficient degree of dispersion, pass into an active state. For example, the degree of hydration of clinker minerals can be judged by the amount of weight loss (TGA curve) in the temperature range 400–500°C, which characterizes the loss of tightly bound water from the cement gel [26].

MATERIALS AND METHODS

In this work, the objects of study were concrete structures: internal wall panels and a floor slab (lightweight concrete, sample 1) and external wall panels (heavy concrete, sample 2) of a five-story residential panel house built in 1979 in the village of Obozersky, Arkhangelsk region. The residual strength of concrete samples was determined by the shock pulse method according to GOST 22690-2015 using an IPS-MG4 device. Before preliminary crushing, concrete samples were brought to constant weight in a drying oven and subjected to the procedure for measuring the true density by a standard method. Then the prototypes were split into pieces no more than 120 mm in size, from which the reinforcement was removed. Then the concrete fragments were crushed on a jaw crusher. The screenings were divided into fractions on a standard set of sieves. The elemental mineral composition of the obtained dust-like fractions was determined by X-ray fluorescence analysis using a "MetExpert" device. The specific surface area of the obtained concrete powders was measured by nitrogen sorption using an AUTOSORB-iQ-MP specific surface area and pore size analyzer and Kozeny-Karman gas permeability using a PSKh-10a unit. Thermogravimetric analysis of experimental samples (simultaneous thermogravimetric and differential thermal analysis) was carried out on an SDT Q650 thermogravimetric analyzer (TA Instrument Inc., USA) in a nitrogen atmosphere (flow rate 50 ml/min) at a heating rate of 10°C/min. Samples weighing 11 mg

Table 1
Values of surface tension of reference liquids [27]

Liquid	σ_S, mJ/m²	σ_S^p, mJ/m²	σ_S^d, mJ/m²
Water	72.8	51.0	21.8
Glycerin	63.4	26.4	37.0
Decane	23.8	0.0	23.8

were placed in an alumina pan and vacuum dried at 30°C for 2 hours before testing. The temperature range was 30–1500°C. In addition, a similar analytical operation was performed with Portland cement M400, for which the elemental composition was determined by the X-ray fluorescence method and the specific surface area was determined by nitrogen sorption. The calculation of the surface tension of powder materials from the experimentally measured surface wetting angle with reference liquids was carried out as follows. Compacted samples with a diameter of 30 mm were formed from the obtained powders on a PLG-20 hydraulic press when exposed to a fixed excess pressure (p) of 2, 4, 8, 12 and 16 tons for 2 minutes. Then, using a DSA-20E goniometer (EasyDrop), we determined the contact angle of wetting the surface of the pressed samples with working fluids with known polar and dispersive components of surface tension: water, glycerin, decane (Table 1). The average wetting angle and its cosine were calculated after two parallel measurements of the contact angle of wetting of the samples with each working fluid. The dispersion (σ_{Sd}) and polarization (σ_{Sp}) components and the total value (σ_S) of the surface tension of the test material were determined by the OVRK method (Ouns, Wendt, Rabel, and Kjellble). Further, the value of σS at an excess pressure p = 0 was obtained by extrapolating the dependence $\sigma_S = f(p)$. This value of surface tension was used to calculate the surface activity of a highly dispersed system (concrete and cement powders). The calculation of the values of the specific mass atomization energy E_m of concrete and cement powders was carried out taking into account a predetermined elemental composition (in terms of oxides) by algebraic addition of the standard enthalpies of formation of the corresponding oxides taken from the reference literature.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Determination of the residual strength of test concrete samples showed that lightweight concrete (sample 1) can be attributed to class B22.5, and heavy (sample 2) – to B40. The average value of the true density (ρ) of the samples under study was 2253 kg/m³ for sample 1, and 2350 kg/m³ for sample 2. Grinding and fractionation of the initial concrete waste made it possible to obtain 9 size fractions each, differing in the size characteristics of the particles. For further research, we used fractions that had particle sizes of less than 0.14 mm. The elemental composition of the obtained prototypes of highly dispersed powders of concrete waste and Portland cement is presented in Table 2. The standard enthalpies of the formation of these oxides and their molecular weights are also given here.

The data presented in Table 2 made it possible to calculate the macroenergy characteristics of the samples under study. Thus, for sample 1 atomization energy (E_a) equal to 1510 kJ/mol, for sample 2 – 1281 kJ/mol, as for Portland cement – 1237 kJ/mol. Specific mass atomization energy (E_m) for concrete (samples 1 and 2) and

Table 2
Elemental composition of experimental samples (in terms of oxides), enthalpies of formation (ΔH_{298}) of oxides, atomization energy (E_a) and their molecular weights (M)

Oxide	Content, %			$\Delta H_{298} \cdot 10^{-3}$, kJ/kmol	E_a, kJ/mol	M, g/mol
	Sample 1	Sample 2	Portland cement			
SiO_2	36.68	16.73	8.98	–910.7 [22]	1859	60.0
CaO	51.39	76.63	80.99	–635.1 [21]	1062	72.0
Fe_2O_3	11.18	5.89	6.72	–823.4 [19]	2398	143.6
TiO_2	0.75	0.76	–	–944.0 [20]	1916	80.0
SO_3	–	–	3.31	–438.4 [19]	1463	80.0

Portland cement take the following values: $4.3 \cdot 10^3$ kJ/kg, $3.6 \cdot 10^3$ kJ/kg and $3.5 \cdot 10^3$ kJ/kg, respectively. The specific surface area of the analyzed samples, determined by the nitrogen sorption method, was 5000±30 m²/kg for the pulverized fraction of lightweight concrete (sample 1), for the pulverized fraction of heavy concrete (sample 2) – 5150±50 m²/kg and 500±10 m²/kg for Portland cement. Determination of the specific surface area of prototypes on the PSKh-10a installation showed the following specific surface area: 260 m²/kg – for sample 1, 240 m²/kg – for sample 2. The underestimated results in terms of the specific surface area, obtained on the PSKh device, can be explained by the complex structure of the particles of the concrete test samples. Thus, gas filtration through a layer of powder in this method is carried out at a pressure close to atmospheric, in the mode of "leakage" of gas flows through the pores of the powder body. However, in this case, the developed surface of the powder particles is not taken into account (the viscous flow passes only along the outer surface of the powder particles). This effect is excluded when determining the specific surface area of dispersed systems by nitrogen sorption. However, the experiment carried out allows us to conclude that there is a developed pore structure of powder prototypes of concrete, in contrast to particles of Portland cement.

Taking into account the values of the true density of the analyzed objects and the specific surface area, the diameter of the equivalent sphere (as the dimensional characteristic of porous particles of cornerstone asymmetric shape) (d_{eq}) of particles was calculated according to the following expression [28]:

$$d_{eq} = 2/\rho S_{sp}. \quad (3)$$

For samples 1 and 2, this parameter is 177 nm and 165 nm, respectively.

The results of thermogravimetric analysis of sample 1 and Portland cement are presented in Figures 1 and 2.

In the presented diagrams (Fig. 1), in our opinion, one should pay attention to the following characteristic temperature ranges. Thus, in the temperature range of 400–500°C, the sample weight loss is associated with the removal of strongly bound water from the cement gel. The total weight loss of the sample due to its temperature modification was 16%. In addition, there is a clear endothermic effects in the region of 570, 735 and 1300°C. In the first case, the manifested effect is associated with the modification transformation of quartz ($\alpha \rightarrow \beta$). Endothermic effects in the temperature ranges of 730–800°C and 1300–1350°C are associated with the presence of a residual (not consumed in the main process of hydration) amount of dicalcium silicate ($2CaO \cdot SiO_2$). The endothermic effects in the temperature ranges of 420–430 and 900–1200°C, accompanied by a loss of sample weight, can be associated with the decomposition of calcite ($CaCO_3$) and the release of CO_2.

Table 3 shows the primary experimental data of the experiments obtained by the OVRK method and the calculated values of the surface tensions of the prototypes.

To determine the value of the surface tension (σ_0) corresponding to the initial powder system without its forced compaction, which is necessary in the implementation of experimental methods for determining

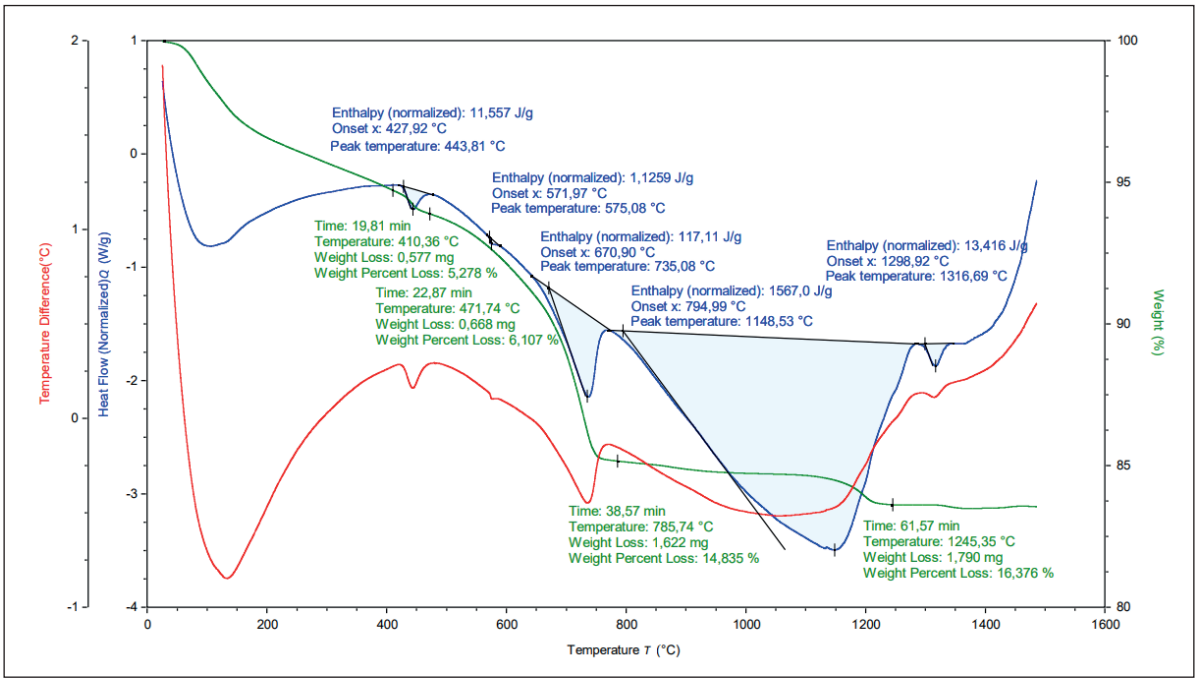


Fig. 1. **TGA of the concrete sample**

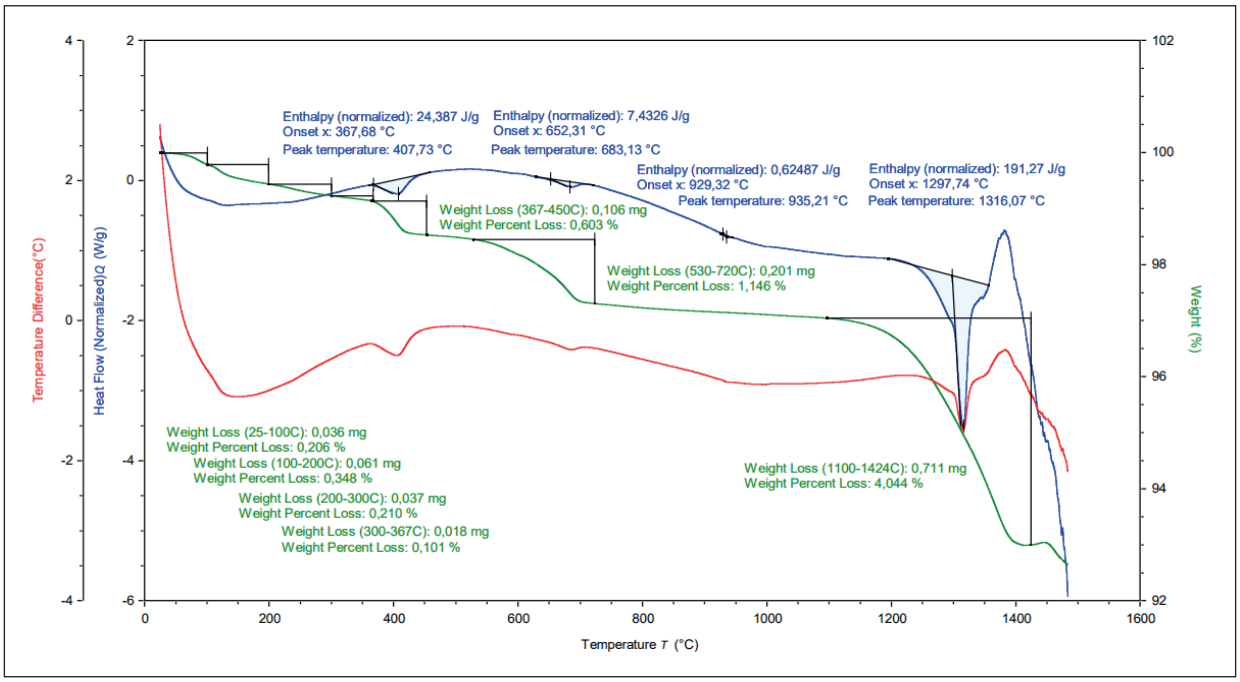


Fig. 2. **TGA of a Portland cement sample**

Table 3

Contact angles of wetting of test powders and calculated values of surface tensions by the OVRK method

Powder	Pressing force, t	Contact angles of wetting, θ_{av}±0.1, °			Surface tension, mJ/m²		
		Decane	Glycerin	Water	σ_s^p	σ_s^d	σ_s
Concrete (sample 1)	2	15.5	31.9	33.4	38.38	21.87	60.26
	4	12.8	30.4	33.6	38.07	22.32	60.40
	8	10.3	29.1	34.1	37.63	22.72	60.36
	12	9.0	25.0	34.8	37.24	23.37	60.61
	16	9.2	23.4	35.2	37.04	23.58	60.62
Concrete (sample 2)	2	14.3	28.5	25.5	42.58	21.60	64.19
	4	11.3	23.3	25.0	42.69	22.37	65.06
	8	10.2	21.9	26.5	41.92	22.71	64.63
	12	10.0	21.9	28.3	41.00	22.90	63.90
	16	9.3	21.9	28.4	40.90	22.95	63.85

the contact angle of the powder surface, the dependences of the surface tension of compacted samples (σ_S) were obtained at different (fixed) pressing forces (p), having a straight-line character with a high value of the coefficient of accuracy of the approximation, (R), followed by extrapolation of this dependence to p = 0 (Fig. 3 and 4). Thus, as a result of the performed mathematical operation, the value of σ_0 was 60.23 mJ/kg and 65.45 mJ/kg for samples of the dust-like fraction of light and heavy concrete, respectively.

The surface tension of condensed dispersed systems is the specific surface energy, the value of which is determined by the van der Waals interaction of particles (dispersion component) and the presence of active surface centers (polarization component). Considering this provision, it should be noted that for concrete powders (samples 1 and 2) the polarization effect prevails over the dispersion interaction. However, for samples of heavy concrete, this difference is more significant than for light concrete. This may be due to the fact that dur-

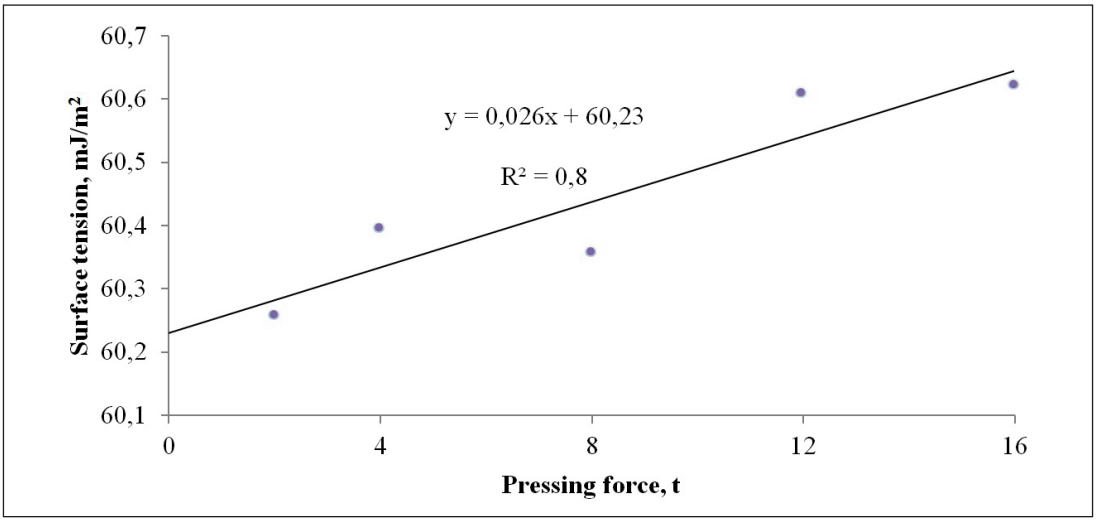


Fig. 3. **Functional dependence $\sigma_S = f(T)$ for lightweight concrete powder (sample 1)**

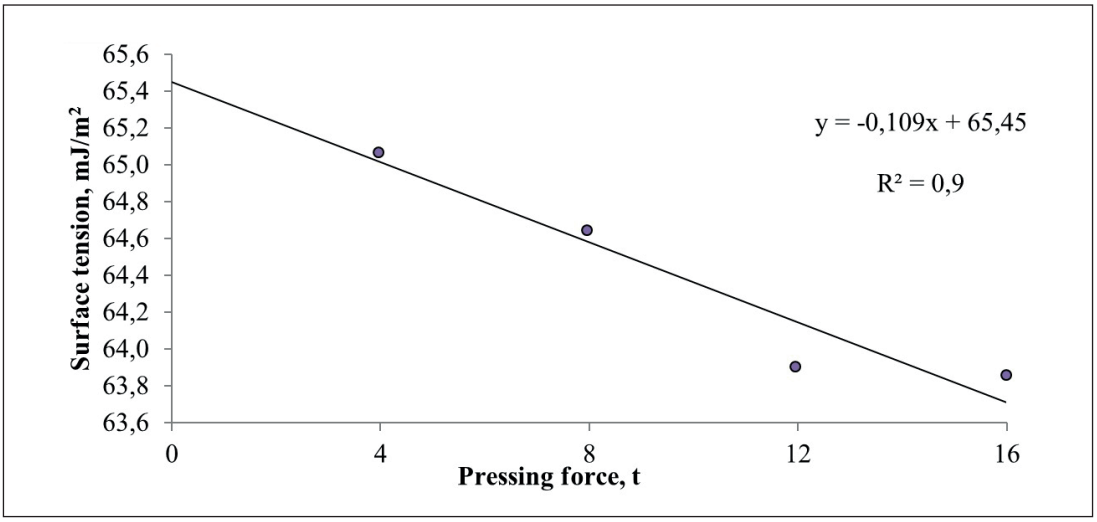


Fig. 4. **Functional dependence $\sigma_S = f(T)$ for lightweight concrete powder (sample 2)**

ing the pressing process, additional destruction of the structure of the particles of these systems occurs. In our opinion, the presence of such an effect is associated with the anomalous value of the dispersion component of the surface tension at a force of 2 tons for sample 2, which is not compatible with the rest of the data set. Based on this fact, this experimental point for sample 2 was not used when approximating the functional dependence $\sigma_S = f(T)$ by the equation of a straight line. In addition, the experimental results showed that an increase in the pressing force leads to a more significant increase in the van der Waals dispersion interaction of particles in lightweight concrete samples than in heavy concrete samples (Fig. 5). Thus, the slope of the functional dependence $\sigma_s^d = f(T)$ for sample 1 is more than two times higher than for sample 2. At the same time, the decrease in the values of the polarization components of the surface tension with an increase in the pressing force of the test samples occurs at almost the same speed (Fig. 6).

Physicochemical and energy characteristics of the surface of the test powders are presented in Table 4.

It can be noted that for the powder of light and heavy concrete, there is practically equality of the ratio of the surface tension component (σ_{sd}/σ_{sp}), varying in the range 0.5÷0.6, however, and the absolute value of the polarization component of the surface tension for sample 2 is higher than for sample 1. This fact indicates an increased content of active centers of the surface of the powder system of heavy concrete, which is the dominant factor in the manifestation of the greater reactivity of particles. Calculations of the surface activity of the samples showed that, as an active additive in compositions capable of exhibiting the properties of a binding agent, it is most preferable to use a powder obtained by crushing sample 2.

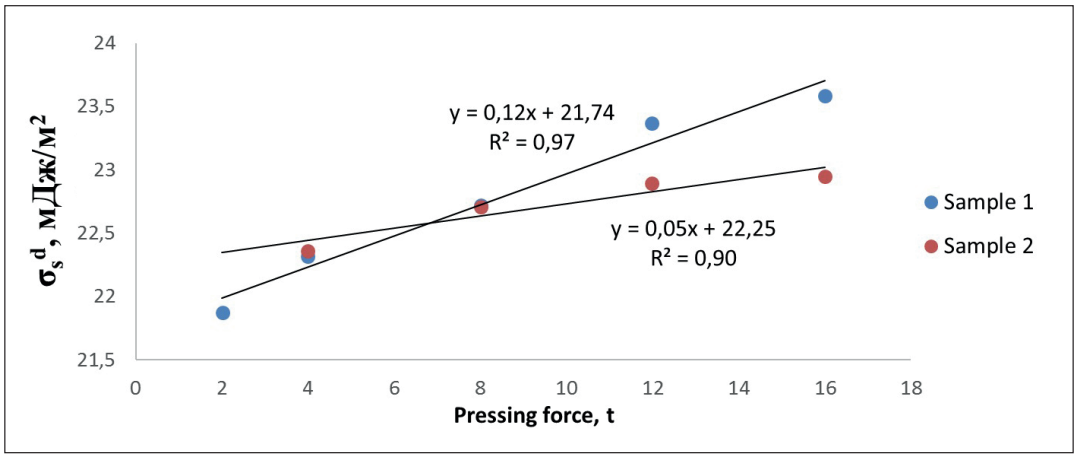


Fig. 5. **Functional dependence of the form $\sigma_s^d = f(T)$ for concrete powders**

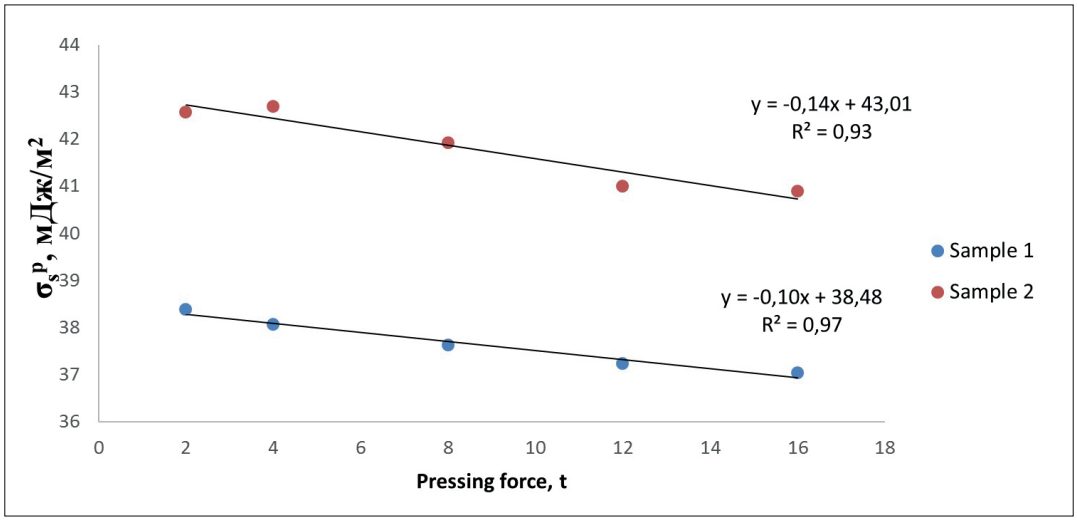


Fig. 6. **Functional dependence of the form $\sigma_s^p = f(T)$ for concrete powders**

Table 4
Physicochemical and energy characteristics of powders

Powder	$\sigma_0 \cdot 10^3$, J/m^2	$S_{уд}$, m^2/kg	$E_S \cdot 10^{-4}$, J/kg	$E_m \cdot 10^{-6}$, J/kg	$k_S \cdot 10^3$
Concrete (sample 1)	60.23	5000	0.030	4.3	0.070
Concrete (sample 2)	65.45	5150	0.034	3.6	0.094

CONCLUSIONS

The possibility of calculating the macroenergy characteristics (atomization energy, specific mass atomization energy) of waste concrete samples using the results of X-ray fluorescence analysis is shown. It was found that, despite the similarity of the elemental composition, concrete with a residual strength class B15 has a higher value of the atomization energy. This physicochemical indicator characterizes the potential reserve of internal energy of the system, which is capable of transforming into free surface energy during mechanical destruction of the material.

To assess the activity of dusty fractions of concrete waste as a component in binding compositions of the hydration type of hardening, it is proposed to use the value of the surface activity of powder systems as a criterion. It has been established that for concrete waste the value of this criterion is determined by the concrete strength class.

REFERENCES

1. Efimenko A.Z. Waste concrete is a raw material for the production of efficient building materials. *Concrete Technologies*. 2014;(2):17–21.

2. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D., Potapova V.A. Concretes with nano-additive from fired reclaimed concrete. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(5):245–249. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249.

3. Krasinikova N.M., Khozin V.G. Recycling of concrete scrap as raw materials for cement concrete. *Construction Materials*. 2020;1(2):56–65. Available from: doi: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65.

4. Lesovik R.V., Akhmed A.A.A., Alaskhanov A.Kh. Binder from the dusty fraction of fragments of destroyed buildings and structures in Iraq. *Regional Architecture and Engineering*. 2020;1(42):69–76.

5. Gusev B.V., Krivoborodov Yu.R., Potapova V.A. Possibility of secondary use of concrete breaker. *Technique and technology of silicates*. 2020;27(1):28–31.

6. Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S. Composite binders based on concretes crap. *Bulletin of BSTU named after V.G.Shukhov*. 2020;7:8–18. Available from: doi: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18.

7. Abramovskaya I.R., Aizenshtadt A.M., Frolova M.A., Veshnyakova L.A., Tutygin A.S. Energy of highly dispersed composites of rocks. *Nanotechnologies in Construction*. 2013;(3):56–65.

8. Veshnyakova L.A., Aizenshtadt A.M., Frolova M.A. Evaluation of the surface activity of highly dispersed raw materials for composite building materials. *Physics and chemistry of materials treatment*. 2015;(2):68-72.

9. Veshnyakova L.A., Drozdyuk T.A., Aizenshtadt A.M., Frolova M.A., Tutygin A.S. Surface activity of silicon-containing rocks. *Material Science*. 2016;(5):45-48.

10. Morozova M.V., Akulova M.V., Frolova M.A., Schepochkina Yu.A. Determination of energy parameters of sands on the example of deposits in the Arkhangelsk region. *Material Science*. 2020;(9):45–48. Available from: doi: 10.31044/1684-579X-2020-0-9-45-48.

11. Yakovets N.V., Krutko N.P., Opanasenko O.N. Determination of free surface energy of powdered resinous-asphaltene substances by the Owens-Wendt-Rabel-Kaelble method. *Sviridovskiye chteniya*. 2012;(8):253 – 260. (In Russian).

12. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Tutygin A.S. Dispersion Interactions as Criterion of Optimization of Cementless Composite Binders. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2018;9(4):767–771.

13. Danilov V.E., Korolev E.V., Aizenshtadt A.M. Measurement of contact angles of powder wetting by the “sessile drop” method. Physics and chemistry of materials treatment. 2020;(6):75–82. Available from: doi: 10.30791/0015-3214-2020-6-75-82.

14. Danilov V.E., Ayzenstadt A.M. Comprehensive approach to the assessment of nanosized fractions of polydisperse systems of crushed rocks. *Nanotechnologies in Construction*. 2016;8(3):97–110. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110.

15. Gregg S.J., Sing K.S.W. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. 2nd ed. London: Academic Press; 1982.

16. Almyasheva O.V., Fedorov B.A., Smirnov A.V., Gusarov V.V. Size, morphology and structure of particles of zirconium dioxide nanopowder obtained under hydrothermal conditions. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2010;1(1):26–36.

17. Zuev V.V., Potselueva L.N., Goncharov Yu.D. *Crystal energy as a basis for assessing the properties of solid materials*. Saint-Petersburg: Publishing House of the Factory “Al’fapol”; 2006.

18. Abramovskaya I.R., Aizenshtadt A.M., Lesovik V.S., Veshnyakova L.A., Frolova M.A., Kazlitin S.A. Calculation of the energy intensity of rocks – as raw materials for the production of building materials. *Industrial and Civil Engineering*. 2012;(10):23–25.

19. Binnewies M., Milke E. *Thermochemical Data of Elements and Compounds*. Hannover: Wiley-VCH; 2002.

20. Gurvich L.V., Veits I.V., Medvedev V.A. and etc. *Thermodynamic properties of individual substances: a reference book. Volume IV*. Moscow: Nauka; 1982.

21. Gurvich L.V., Veits I.V., Medvedev V.A. and etc. *Thermodynamic properties of individual substances: a reference book. Volume III*. Moscow:Nauka;1982.

22. Gurvich L.V., Veits I.V., Medvedev V.A. and etc. *Thermodynamic properties of individual substances: a reference book. Volume II*. Moscow: Nauka; 1982.

23. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D. Crushing of reinforced concrete products and recycling of concrete. *Technique and technology of silicates*. 2013;20 (2):25–28.

24. Galkin Yu.Yu., Udodov S.A. Phase analysis of the structure of cement stone isolated at its early loading. *Russian journal of transport engineering*. 2018;1(5). Available from: https://t-s.today/PDF/21SATS118.pdf [Accessed 10th April 2021]. Available from: doi: 10.15862/21SATS118.

25. Khabas T.A., Kulinich E.A., Egorov E.Yu. *Thermogravimetric method for the analysis of silicate materials. Guidelines for the courses "Physicochemistry of a solid" and "Physical chemistry of refractory non-metallic and silicate materials."* Tomsk: TPU; 2007.

26. Agzamov F.A., Lomakina L.N., Gafurova E.A., Bikmeeva N.B. Investigation of the process of structure formation of concrete in the conditions of winter concreting. *Oil and Gas Business*. 2013;(6):384–400.

27. Gayda J., Ayzenshtadt A., Tutygin A., Frolova M. Organic-Mineral Aggregate for Sandy Subsoil Strengthening. *Procedia Engineering*. 2016;143:90–97.

28. Levin A.V. Basic principles of particle size analysis. GK "Energolab". Available from: https://docplayer.ru/43708708-Osnovnye-principy-analiza-razmerov-chastic.html [Accessed 10th April 2021].

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Arkady M. Ayzenshtadt, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, The Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, The Honored Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2904-2549, e-mail: a.isenshtadt@narfu.ru.

Tatiana A. Drozdyuk, Senior Lecturer of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1847-408X, e-mail: t.drozdyuk@narfu.ru.

Victor E. Danilov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5013-5339, e-mail: v.danilov@narfu.ru.

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

Georgiy A. Garamov, Master Student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5496-1080, e-mail: georgiigaramov1997@gmail.com

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 09.03.2021.
Revised: 31.03.2021.
Accepted: 02.04.2021.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116
УДК 548.31; 691.3
Тип статьи: Оригинальная статья

Активность поверхности порошков бетонного лома

А.М. Айзенштадт, Т.А. Дроздюк*, В.Е. Данилов, М.А. Фролова, Г.А. Гарамов
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия
***Контакты:** e-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Одним из самых многотоннажных отходов стройиндустрии является бетонный лом, полученный в результате демонтажа зданий и сооружений, срок эксплуатации которых достиг своего максимума или требует значительных капитальных изменений. Особый интерес на наш взгляд представляют работы по использованию получаемой пылевидной фракции. Одним из перспективных методологических подходов в данном направлении является соблюдение принципов нанотехнологий, заключающихся в получении тонкодисперсных компонентов как активных составляющих создаваемых композиций. **Методы и материалы.** Поэтому объектами исследований в данной работе были тонкодисперсные порошки, полученные механическим размолом легкого (образец 1) и тяжелого (образец 2) бетона пятиэтажного жилого панельного дома 1979 года постройки. Определен элементный состав и удельная поверхность образцов, проведена термогравиметрия исследуемых порошковых систем, методом ОВРК установлено поверхностное натяжение опытных проб и дисперсионная и поляризационная составляющие данного показателя. Предложен новый методический подход к определению поверхностного натяжения порошковых систем, основанный на определении функциональной зависимости поверхностного натяжения от усилия прессования опытных образцов. Показана возможность расчета макроэнергетических характеристик (энергия атомизации, удельная массовая энергия атомизации) образцов отработанного бетона. Данный физико-химический показатель характеризует потенциальный запас внутренней энергии системы, способной при механическом разрушении материала переходить в свободную поверхностную энергию. **Результаты и обсуждение.** ТГА-анализ опытных проб бетона показал наличие остаточного количества двухкальциевого силиката. Проведенные расчеты величины поверхностной активности образцов показали, что в качестве активной добавки в композициях, способной проявлять свойства связующего агента наиболее предпочтительнее использовать порошок, полученный путем дробления образца тяжелого бетона. **Заключение.** Для оценки активности пылевидных фракций бетонного лома как компонента в вяжущих композициях гидратационного типа твердения предложено использовать в качестве критерия величину активности поверхности порошковых систем. Абсолютное цифровое значение данного критерия равно отношению величин свободной поверхностной энергии исследуемого порошка и удельной массовой энергии атомизации исходного отработанного бетона. Установлено, что для бетонного лома величина данного критерия определяется поляризационной составляющей поверхностного натяжения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вторичный бетон, активность поверхности, композиционное вяжущее, энергия атомизации, пылевидная фракция бетонного лома, термогравиметрический анализ

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследования проводились на уникальном научном оборудовании «Физическая химия поверхностей нанодисперсных систем» при финансовой поддержке проекта Kolarctic № KO4068 «DeConcrete: Eco-efficient Arctic Technologies Cooperation».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Айзенштадт А.М., Дроздюк Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А., Гарамов Г.А. Активность поверхности порошков бетонного лома // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 108–116. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема переработки и повторного использования техногенных отходов является мировым ключевым фактором улучшения экологического состояния окружающей среды. Данное положение в полной мере относится и к индустрии строительных материалов. Кроме того, исследования в данном направлении позволяют также не только сохранять природные ресурсы, но и значительно уменьшать стоимость конечных строительных материалов. Одним из самых многотоннажных отходов стройиндустрии является бетонный лом, полученный в результате демонтажа зданий и сооружений, срок

© Айзенштадт А.М., Дроздюк Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А., Гарамов Г.А., 2021

эксплуатации которых достиг своего максимума или требует значительных капитальных вложений. Поэтому понятен значительный интерес исследований, направленных на решение проблемы использования различных фракций бетонного лома в строительном материаловедении [1–4].

Особый интерес, на наш взгляд, представляют работы по использованию получаемой пылевидной фракции. Так, например, результаты исследований [2, 5, 6] по влиянию пылевидной части отсевов дробления бетонного лома при создании композиционных вяжущих (КВ) на прочность цементного камня показали, что прочность цементного камня незначительно снижается при добавлении к цементу пыли отсева дробления бетонного лома. Таким образом данный отсев проявляет свойства низкомарочного вяжущего. Однако ряд нерешенных вопросов, связанных с определением активности данной фракции в качестве компонента КВ, сдерживает ее широкое применение. Во многом это связано со значительными временными и трудоемкими затратами при традиционном подходе к решению этой задачи. Вместе с тем, рассматривая пылевидную фракцию разрушенного бетона как тонкодисперсную систему, состоящую из микро- и наноразмерных частиц, обладающую повышенным энергетическим потенциалом, можно применить для оценки ее способности к трансформационным превращениям нанотехнологичный подход. Так, в [7–10] для определения активности поверхности (k_S) подобных систем предложен количественный критерий, который рассчитывается исходя из отношений величин свободной поверхностной энергии высокодисперсной системы и потенциальной энергии, характерной для ее макросостояния.

В настоящее время нами разработан механизм экспериментального определения k_S, численно равный отношению двух характеристик: E_S/E_m. В этом выражении числитель представляет собой свободную поверхностную энергию дисперсной системы (Дж/кг), а знаменатель – удельную массовую энергию атомизации (Дж/кг) испытуемого материала. В свою очередь, расчет значений свободной поверхностной энергии осуществляется исходя из экспериментально определяемых величин удельной поверхности исследуемого тонкодисперсного порошка ($S_{уд}$, м^2/кг) и его поверхностного натяжения (σ, Дж/м^2) [11–13]:

$$E_S = \sigma \bullet S_{уд}. \quad (1)$$

Если с выбором метода определения величины удельной поверхности высокодисперсных порошков вопросов практически не возникает (точные и воспроизводимые результаты дают методы, основанные на теории БЭТ и реализуемые путем криогенной адсорбции азота на аналитических системах Autosorb [14–16]), то определение поверхностного натяжения (удельной поверхностной энергии) порошковых систем, например, способом ОВРК [10, 11] требует применения точных рекомендаций, отработанных для таких стандартных жидкостей, как декан, этиленгликоль, глицерин, вода [13].

Удельная массовая энергия атомизации представляет собой алгебраическую сумму стандартных энтальпий образования химических соединений (энергия атомизации, E_a, Дж/моль), составляющих опытный образец с учетом их молекулярных (формульных) масс (М, моль/кг) [17, 18]:

$$E_m = E_a/M. \quad (2)$$

Стандартные энтальпии образования основных химических соединений (в пересчете на их оксиды) представлены в соответствующей справочной литературе [19–22].

Поэтому представлялось интересным провести сравнительный анализ по величине активности поверхности опытных образцов пылевидной фракции бетонного лома, полученных после предварительного помола макрообразцов до удельной поверхности, близкой гидравлическому цементному вяжущему (300 м^2/кг). Данные значения удельной поверхности портландцемента определяются методом газопроницаемости Козени-Кармана на установке, например, ПСХ-10а.

Кроме того, значимые результаты в плане научного обоснования правомочности используемого критерия могут представлять результаты термогравиметрического анализа (ТГА) опытных образцов. Данный факт может быть связан с определением остаточного содержания негидролизовавшихся в процессе твердения бетона силикатов кальция [5, 23–25], которые путем механоактивации анализируемых проб до достаточной степени дисперсности переходят в активное состояние. Так, например, о степени гидратации клинкерных минералов можно судить по величине потери массы (кривая ТГА) в интервале температур 400–500°С, которая характеризует потерю прочносвязанной воды из цементного геля [26].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В данной работе объектами исследования стали бетонные конструкции: внутренние стеновые панели и плита перекрытия (легкий бетон, образец 1) и наружные стеновые панели (тяжелый бетон, образец 2) пятиэтажного жилого панельного дома 1979 года постройки в поселке Обозерский Архангельской области. Остаточная прочность бетонных

Таблица 1
Значения поверхностных натяжений эталонных жидкостей [27]

Жидкость	σ_S, мДж/м^2	σ_S^p, мДж/м^2	σ_S^d, мДж/м^2
Вода	72,8	51,0	21,8
Глицерин	63,4	26,4	37,0
Декан	23,8	0	23,8

образцов определялась методом ударного импульса по ГОСТ 22690-2015 на приборе ИПС-МГ4. Перед предварительным дроблением образцы бетона доводились до постоянной массы в сушильном шкафу и подвергались процедуре измерения истинной плотности стандартным методом. Затем опытные образцы раскалывались на куски размером не более 120 мм, из которых извлекалась арматура. Далее фрагменты бетона дробились на щековой дробилке ДЩ 1-2. Отсевы были разделены на фракции на стандартном наборе сит. Элементный минеральный состав полученных пылевидных фракций определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с помощью прибора ПРФА «МетЭксперт». Удельную поверхность полученных порошков бетона измеряли методами сорбции азота на анализаторе удельной поверхности и размеров пор AUTOSORB-iQ-MP и газопроницаемости Козени-Кармана на установке ПСХ-10а. Термогравиметрический анализ опытных образцов (синхронный термогравиметрический и дифференциальный термический анализ) проводили на термогравиметрическом анализаторе SDT Q650 (TA Instrument Inc., США) в атмосфере азота (расход 50 мл/мин) при скорости нагрева 10°С/мин. Образцы массой 11 мг помещали в глиноземный поддон и подвергали вакуумной сушке при температуре 30°С в течение 2 часов перед испытанием. Диапазон изменения температур составил 30–1500°С. Кроме этого, аналогичную аналитическую операцию проводили с портландцементом марки М400, для которого был определен элементный состав рентгенофлуоресцентным методом и удельная поверхность методом сорбции азота. Расчет поверхностного натяжения порошковых материалов по измеряемому экспериментально углу смачивания поверхности эталонными жидкостями осуществлялся следующим образом. Из полученных порошков на гидравлическом прессе ПЛГ-20 формировали уплотненные образцы диаметром 30 мм при воздействии в течение 2 минут фиксированного избыточного давления (р) 2, 4, 8, 12 и 16 тонн. Далее на гониометре DSA-20E (EasyDrop) определяли краевой угол смачивания поверхности образцов-запрессовок рабочими жидкостями с известными полярными и дисперсионными составляющими поверхностного натяжения: вода, глицерин, декан (табл. 1). После двух параллельных измерений краевого угла смачивания образцов каждой рабочей жидкостью рассчитывали средний угол смачивания и его косинус. Дисперсионная (σ_{Sd}), поляризационная (σ_{Sp}) составляющие и суммарное значение (σ_S) поверхностного натяжения исследуемого материала определяли по методу ОВРК (Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле). Далее, путем экстраполяции зависимости $\sigma_S = f(p)$ получали значение σ_S при избыточном давлении $p = 0$. Данное значение поверхностного натяжения и использовалось для расчета активности поверхности высокодисперсной системы (порошки бетона и цемент). Расчет значений удельной массовой энергии атомизации E_m порошков бетона и цемента проводили с учетом предварительно определенного элементного состава (в пересчете на оксиды) путем алгебраического сложения стандартных энтальпий образования соответствующих оксидов, взятых из справочной литературы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение остаточной прочности опытных образцов бетона показало, что легкий бетон (образец 1) можно отнести к классу В22,5, а тяжелый (образец 2) – к В40. Усредненное значение истинной плотности (ρ) исследуемых образцов составило для образца 1 – 2253 кг/м^3, а для образцов 2 – 2350 кг/м^3. Диспергирование и фракционирование исходного бетонного лома позволило получить по 9 размерных фракций, отличающихся размерными характеристиками частиц. Для дальнейших исследований использовались фракции, которые имели размеры частиц менее 0,14 мм.

Элементный состав полученных опытных образцов высокодисперсных порошков бетонного лома и портландцемента представлен в табл. 2. Здесь же даны стандартные энтальпии образования данных оксидов и их молекулярные массы.

Данные, представленные в табл. 2, позволили рассчитать макроэнергетическую характеристику исследуемых образцов. Так, для бетонного лома образца 1 энергия атомизации (E_a) равна 1510 кДж/моль, для образца 2 – 1281 кДж/моль, а для используемого портландцемента – 1237 кДж/моль. Удельная

Таблица 2

Элементный состав опытных образцов (в пересчете на оксиды), энтальпии образования (ΔH_{298}) оксидов, энергия атомизации (E_a) и их молекулярные массы (М)

Оксид	Содержание, %			$\Delta H_{298} \cdot 10^{-3}$, кДж/кмоль	E_a, кДж/моль	М, г/моль
	Образец 1	Образец 2	Портланд-цемент			
SiO_2	36,68	16,73	8,98	–910,7 [22]	1859	60,0
CaO	51,39	76,63	80,99	–635,1 [21]	1062	72,0
Fe_2O_3	11,18	5,89	6,72	–823,4 [19]	2398	143,6
TiO_2	0,75	0,76	–	–944,0 [20]	1916	80,0
SO_3	–	–	3,31	–438,4 [19]	1463	80,0

массовая энергия атомизации (E_m) для бетона (образцы 1 и 2) и портландцемента принимают следующие значение: $4{,}3 \cdot 10^3$ кДж/кг, $3{,}6 \cdot 10^3$ кДж/кг и $3{,}5 \cdot 10^3$ кДж/кг, соответственно.

Величина удельной поверхности анализируемых образцов, определенная методом сорбции азота, составила: 5000±30 м²/кг для пылевидной фракции легкого бетона (образец 1), тяжелого (образец 2) – 5150±50 м²/кг и 500±10 м²/кг для используемого при сравнении портландцемента. Определение удельной поверхности опытных образцов на приборе ПСХ-10а привело к получению следующих значений удельной поверхности: 260 м²/кг – для образца 1, 240 м²/кг – для образца 2. Заниженные результаты по величине удельной поверхности, полученные на приборе ПСХ, можно объяснить сложной структурой частиц опытных образцов бетона. Так, фильтрация газа через слой порошка в этом методе осуществляется при давлении, близком к атмосферному, в режиме «просачивания» газовых потоков по порам порошкового тела. Однако в этом случае не учитывается развитая поверхность частиц порошка (вязкое течение проходит только по внешней поверхности частиц порошка). Данный эффект исключается при определении удельной поверхности дисперсных систем методом сорбции азота. Однако проведенный эксперимент позволяет сделать вывод о наличии развитой поровой структуре порошковых опытных образцов бетона в отличие от частиц портландцемента.

С учетом значений истинной плотности анализируемых объектов и удельной поверхности рассчитан диаметр эквивалентной сферы (как размерная характеристика пористых частиц краеугольной несимметричной формы) ($d_{экв}$) частиц по следующему выражению [28]:

$$d_{экв} = 2/\rho S_{уд}. \quad (3)$$

Для образцов 1 и 2 данный параметр равен 177 нм и 165 нм, соответственно.

Результаты термогравиметрического анализа образца 1 и портландцемента представлены на рис. 1 и 2.

На представленных диаграммах (рис. 1), на наш взгляд, следует обратить внимание на следующие характерные температурные области. Так, в диапазоне температур 400–500°С потеря массы образца связана с удалением прочносвязанной воды из цементного геля. Общая потеря массы образца за счет его температурной модификации составила 16%. Кроме того, отмечаются четкие эндотермические эффекты в районе 570, 735 и 1300°С. В первом случае проявившийся эффект связан с модификационным превращением кварца ($\alpha \rightarrow \beta$). Эндотермические эффекты в температурных диапазонах 730–800°С и 1300–1350°С связаны с наличием остаточного (не израсходованного в основном процессе гидратации) количества двухкальциевого силиката ($2CaO \cdot SiO_2$). Эндоэффекты в диапазонах температур 420–430 и 900–1200°С, сопровождающиеся потерей массы образца, могут быть связаны с разложением кальцита ($CaCO_3$) и выделением CO_2.

В табл. 3 приведены первичные экспериментальные данные экспериментов, полученные методом ОВРК, и расчетные значения поверхностных натяжений опытных образцов.

Для определения величины поверхностного натяжения (σ_0), соответствующей исходной порошковой системе без принудительного ее уплотнения, необходимого при реализации экспериментальных приемов по определению краевого угла поверхности порошков, получены зависимости поверхностного натяжения уплотненных образцов (σ_S) при разном (фиксированном) усилии прессования (р), имеющие прямолинейный характер с высоким значением коэффициента достоверности аппроксимации, (R),

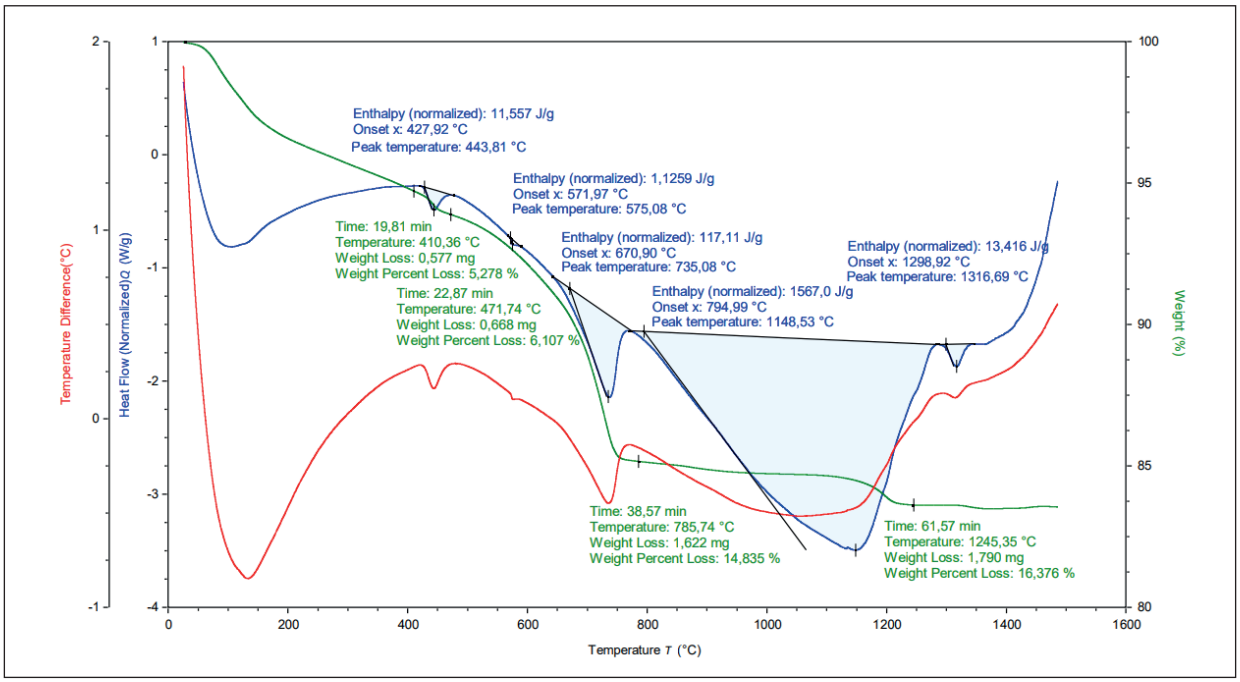


Рис. 1. **ТГА образца бетона**

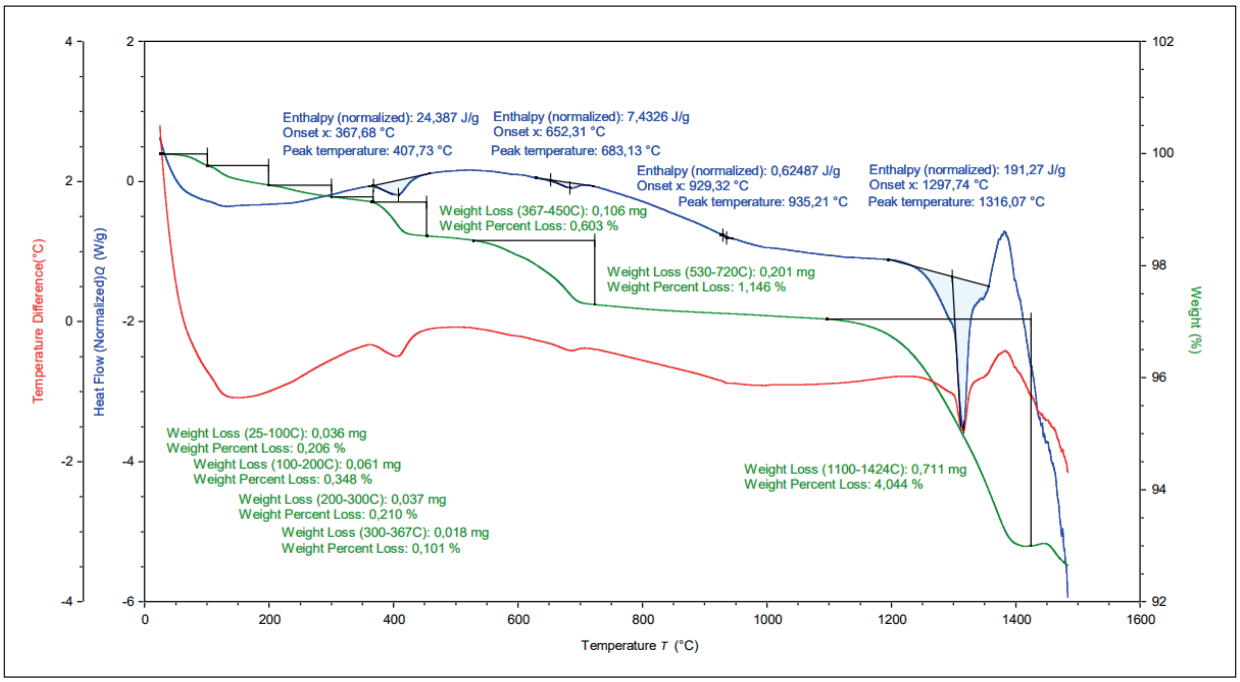


Рис. 2. **ТГА образца портландцемента**

с последующей экстраполяцией данной зависимости на p = 0 (рис. 3 и 4). Так, в результате проведенной математической операции величина σ_0 составила для образцов пылевидной фракции легкого и тяжелого бетонов 60,23 мДж/кг и 65,45 мДж/кг, соответственно.

Поверхностное натяжение конденсированных дисперсных систем представляет собой удельную поверхностную энергию, величина которой определяется ван-дер-ваальсовым взаимодействием частиц (дисперсионная составляющая) и наличием активных центров поверхности (поляризационная

Таблица 3

Краевые углы смачивания опытных порошков и рассчитанные по ним значения поверхностных натяжений методом ОВРК

Порошок	Усилие прессования, т	Краевые углы смачивания, $\theta_{ср} \pm 0,1$, °			Поверхностное натяжение, мДж/м²		
		декан	глицерин	вода	σ_s^p	σ_s^d	σ_s
Бетон (образец 1)	2	15,5	31,9	33,4	38,38	21,87	60,26
	4	12,8	30,4	33,6	38,07	22,32	60,40
	8	10,3	29,1	34,1	37,63	22,72	60,36
	12	9,0	25,0	34,8	37,24	23,37	60,61
	16	9,2	23,4	35,2	37,04	23,58	60,62
Бетон (образец 2)	2	14,3	28,5	25,5	42,58	21,60	64,19
	4	11,3	23,3	25,0	42,69	22,37	65,06
	8	10,2	21,9	26,5	41,92	22,71	64,63
	12	10,0	21,9	28,3	41,00	22,90	63,90
	16	9,3	21,9	28,4	40,90	22,95	63,85

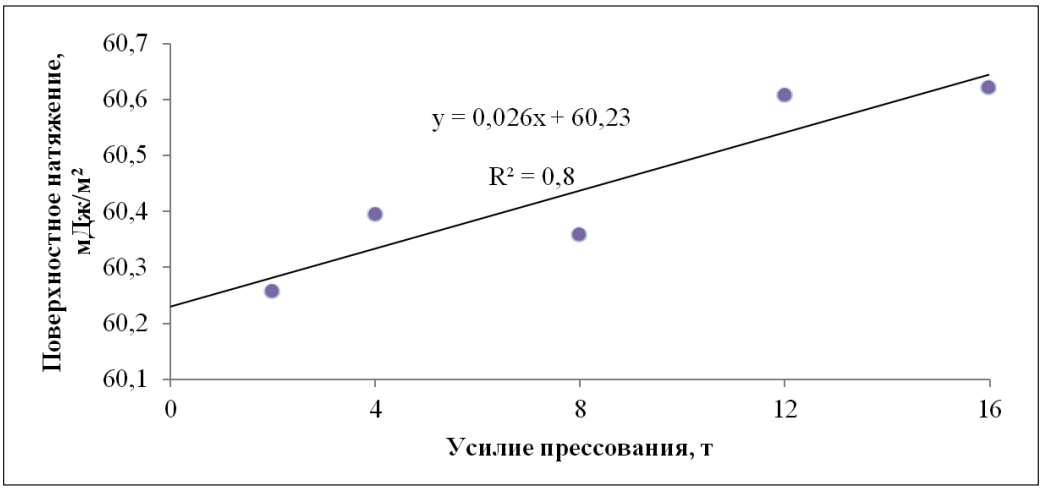


Рис. 3. **Функциональная зависимость $\sigma_S = f(T)$ для порошка легкого бетонного лома (образец 1)**

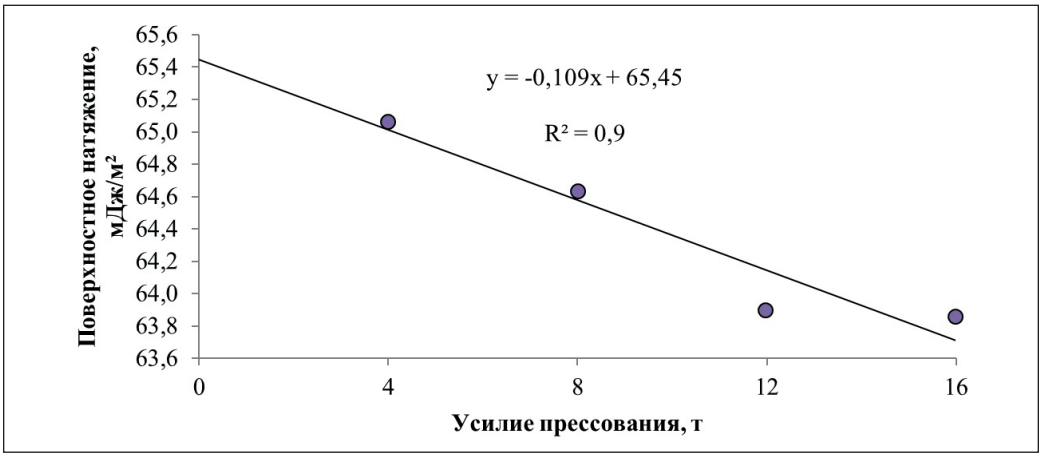


Рис. 4. **Функциональная зависимость $\sigma_S = f(T)$ для порошка тяжелого бетонного лома (образец 2)**

составляющая). Учитывая данное положение, следует отметить, что для порошков бетона (образцы 1 и 2) поляризационный эффект преобладает над дисперсионным взаимодействием. Однако для образцов тяжелого бетона эта разница значительнее, чем для легкого. Это может быть связано с тем, что в процессе прессования происходит дополнительное разрушение структуры частиц данных систем. С наличием такого эффекта, на наш взгляд, связано аномальное значение дисперсионной составляющей поверхностного натяжения при усилии в 2 т для образца 2, не сочетающегося с остальным массивом данных. Исходя из этого факта, данную экспериментальную точку для образца 2 не использовали при аппроксимации функциональной зависимости $\sigma_s = f(T)$ уравнением прямой линии. Кроме того, результаты экспериментов показали, что увеличение усилия прессования приводит к более значительному возрастанию ван-дер-ваальсового дисперсионного взаимодействия частиц у образцов легкого бетона, чем у образцов тяжелого бетона (рис. 5). Так, угловой коэффициент функциональной зависимости $\sigma_s^d = f(T)$ для образца 1 более чем в два раза выше, чем для образца 2. В то же время, уменьшение значений поляризационных составляющих поверхностного натяжения с увеличением усилия прессования опытных проб происходит практически с одинаковой скоростью (рис. 6).

Физико-химические и энергетические характеристики поверхности опытных порошков представлены в табл. 4.

Можно отметить, что для порошков легкого и тяжелого бетонов наблюдается практически равенство отношений составляющей поверхностного натяжения (σ_{sd}/σ_{sp}), изменяющееся в диапазоне 0,5÷0,6, однако

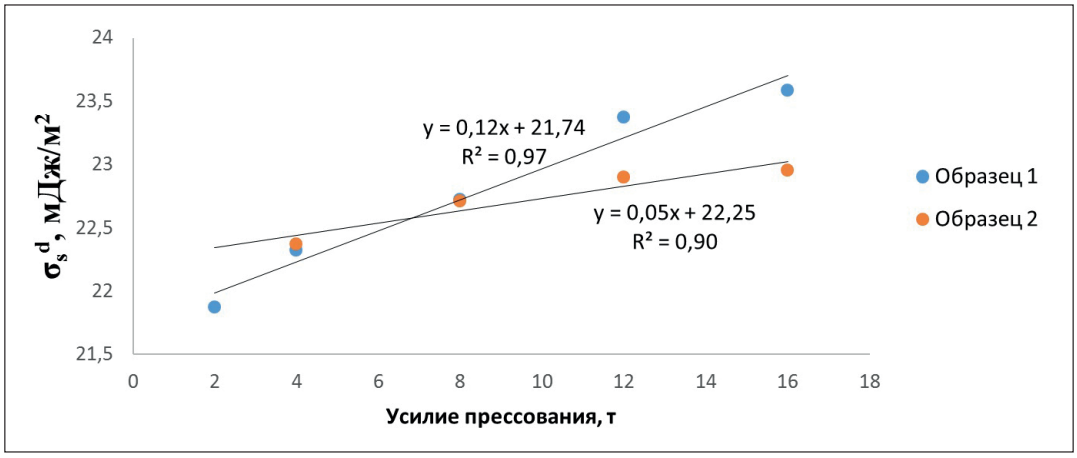


Рис. 5. **Функциональная зависимость вида $\sigma_s^d = f(T)$ для порошков бетона**

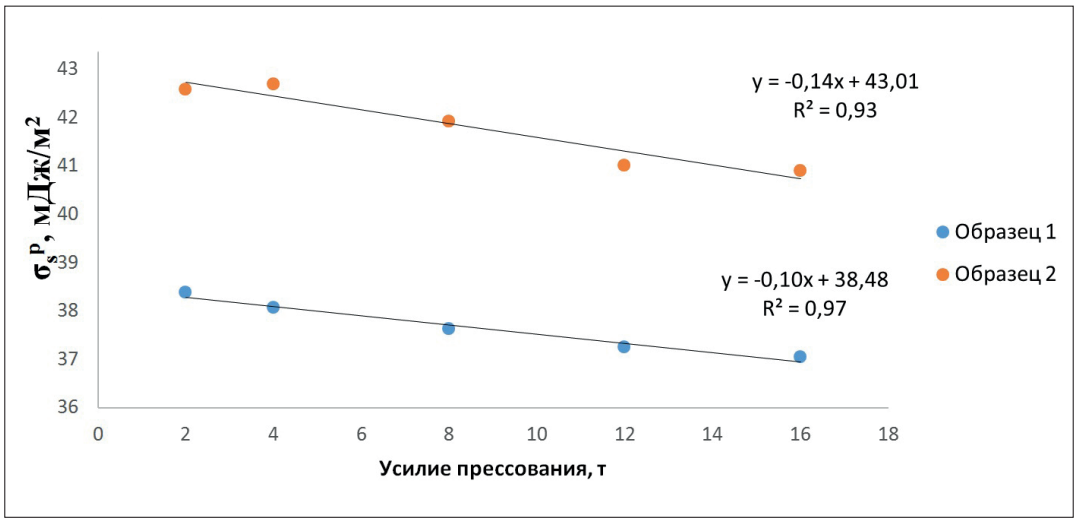


Рис. 6. **Функциональная зависимость вида $\sigma_s^p = f(T)$ для порошков бетона**

Таблица 4
Физико-химические и энергетические характеристики порошков

Порошок	$\sigma_0 \cdot 10^3$, Дж/м^2	$S_{уд}$, м^2/кг	$E_S \cdot 10^{-4}$, Дж/кг	$E_m \cdot 10^{-6}$, Дж/кг	$k_S \cdot 10^3$
Образец 1	60,23	5000	0,030	4,3	0,070
Образец 2	65,45	5150	0,034	3,6	0,094

абсолютное значение поляризационной составляющей поверхностного натяжения для образца 2 выше, чем для образца 1. Данный факт свидетельствует об увеличенном содержании активных центров поверхности порошковой системы тяжелого бетона, что и является преобладающим фактором в проявлении большей реакционной способности частиц.

Проведенные расчеты величины поверхностной активности образцов показали, что в качестве активной добавки в композициях, способной проявлять свойства связующего агента, наиболее предпочтительнее использовать порошок, полученный путем дробления образца 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность расчета макроэнергетических характеристик (энергия атомизации, удельная массовая энергия атомизации) образцов отработанного бетона с использованием результатов рентгенофлюоресцентного анализа. Установлено, что, несмотря на схожесть элементного состава, бетон с остаточным классом прочности В15 имеет более высокое значение энергии атомизации. Данный физико-химический показатель характеризует потенциальный запас внутренней энергии системы, способной при механическом разрушении материала переходить в свободную поверхностную энергию.

Для оценки активности пылевидных фракций бетонного лома как компонента в вяжущих композициях гидратационного типа твердения предложено использовать в качестве критерия величину активности поверхности порошковых систем. Установлено, что для бетонного лома величина данного критерия определяется классом прочности бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефименко А.З. Бетонные отходы – сырье для производства эффективных строительных материалов // Технология бетонов. – 2014. – 2. – С. 17–21.
2. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д., Потапова В.А. Бетоны с нанодобавкой из обожженного вторичного бетона // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Т. 12, № 5. – С. 245–249. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249.
3. Красиникова Н.М., Хозин В.Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // Строительные материалы. – 2020. – Т. 1, № 2. – С. 56–65. – DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65.
4. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аласханов А.Х. Вяжущее из пылевидной фракции фрагментов разрушенных зданий и сооружений Ирака // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – Т. 1, № 42. – С. 69–76.
5. Гусев Б.В., Кривобородов Ю.Р., Потапова В.А. Возможность вторичного применения бетонолома // Техника и технология силикатов. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 28–31.
6. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 7. – С. 8–18. – DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18.
7. Абрамовская И.Р., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Вешнякова Л.А., Тутыгин А.С. Энергетика высокодисперсных композитов горных пород // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Т. 5, № 3. – С. 56–65.
8. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А. Оценка поверхностной активности высокодисперсного сырья для композиционных строительных материалов // Физика и химия обработки материалов. – 2015. – № 2. – С. 68–72.
9. Вешнякова Л.А., Дроздюк Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Тутыгин А.С. Поверхностная активность кремнесодержащих горных пород // Материаловедение. – 2016. – № 5.– С. 45–48.
10. Морозова М.В., Акулова М.В., Фролова М.А., Щепочкина Ю.А. Определение энергетических параметров песков на примере месторождений Архангельской области // Материаловедение. – 2020. – Т. 9, № 45. – С. 48.
11. Яковец Н.В., Крутько Н.П., Опанасенко О.Н. Определение свободной поверхностной энергии порошкообразных смолисто-асфальтеновых веществ методом Оуэнса-Вендта-Рабеля-Каелбле // Свиридовские чтения. – 2012. – № 8. – С. 253–260.
12. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Tutygin A.S. Dispersion Interactions as Criterion of Optimization of Cementless Composite Binders. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2018;9(4):767–771.

13. Данилов В.Е., Королев Е.В., Айзенштадт А.М. Измерение краевых углов смачивания порошков методом «sessile drop» // Физика и химия обработки материалов. – 2020. – № 6. – С. 75–82. – DOI: 10.30791/0015-3214-2020-6-75-82

14. Данилов В.Е., Айзенштадт А. М. Комплексный подход к оценке наноразмерных фракций полидисперсных систем измельченных горных пород // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. –Т. 8, № 3. – С. 97–110. – DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110.

15. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Пер. с англ., 2-е издание. – Москва: Мир, 1984. – 306 с.

16. Альмяшева О.В., Федоров Б.А., Смирнов А.В., Гусаров В.В. Размер, морфология и структура частиц нанопорошка диоксида циркония, полученного в гидротермальных условиях // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 26–36.

17. Зуев В. В., Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов. – СПб.: Изд-во завода «Альфапол», 2006. – 139 с.

18. Абрамовская И.Р., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Казлитин С.А. Расчет энергоемкости горных пород — как сырья для производства строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 10. – С. 23–25.

19. Binnewies M., Milke E. *Thermochemical Data of Elements and Compounds*. Hannover: Wiley-VCH; 2002.

20. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справ. издание: В 4 т /Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев [и др.]. – М.: Наука, 1982. – Т. IV, Кн. 2. – 560 с.

21. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справ. издание: В 4 т /Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев [и др.]. – М.: Наука, 1981. – Т. III, Кн. 2. – 400 с.

22. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справ. издание: В 4 т /Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев [и др.]. – М.: Наука, 1979. – Т. II, Кн. 2. – 344 с.

23. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д. Дробление железобетонных изделий и вторичное использование бетона // Техника и технология силикатов. – 2013. –Т. 20, № 2. – С. 25–28.

24. Галкин Ю.Ю., Удодов С.А. Фазовый анализ структуры цементного камня, изолированного при его раннем нагружении // Транспортные сооружения. – 2018. – С. 1. – https://t-s.today/PDF/21SATS118.pdf (доступ свободный). – DOI: 10.15862/21SATS118.

25. Хабас Т.А., Кулинич Е.А., Егоров Е.Ю. Термогравиметрический метод анализа силикатных материалов / Методические указания по курсам «Физикохимия твердого тела» и Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов». – Томск: ТПУ, 2007. – 20 с.

26. Агзамов Ф.А., Ломакина Л.Н., Гафурова Э.А., Бикмеева Н.Б. Исследование процесса структурообразования бетона в условиях зимнего бетонирования // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 6. – С. 384–400.

27. Gayda J., Ayzenshtadt A., Tutygin A., Frolova M. Organic-Mineral Aggregate for Sandy Subsoil Strengthening. *Procedia Engineering*. 2016;143:90–97.

28. Левин А.В. Основные принципы анализа размера частиц. ГК «Энерголаб». – URL: https://docplayer.ru/43708708-Osnovnye-principy-analiza-razmerov-chastic.html (дата обращения 02.03.2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Дроздюк Татьяна Анатольевна, старший преподаватель кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1847-408X, e-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

Данилов Виктор Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5013-5339, e-mail: v.danilov@narfu.ru

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

Гарамов Георгий Андреевич, магистрант, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5496-1080, e-mail: georgiigaramov1997@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 09.03.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 31.03.2021.
Статья принята к публикации: 02.04.2021.

MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-117-123
Article type: Review article

Technological equipment management for 3D additive printing of building nanocomposites

O.V. Ivanova, R.M. Khalikov*, A.S. Salov, M.Kh. Nizamutdinov, V.V. Zinnatullin
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia
*** Corresponding author:** e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

ABSTRACT: Introduction. The development of innovative approaches to digital equipment control that ensure the production of 3D building structures with high operational and technical-economic characteristics remains an urgent task. The handling and maintenance of technological equipment during the process of 3D-printing of construction objects do not always meet the modern requirements of technical systems management. **Methods and materials.** 3D-printing is based on the method of extrusion: molding of a building structure layer-by-layer with the addition and fairly rapid subsequent solidification of nanocomposite building materials. The resulting optimized nanocomposition must have the required rheology, which set the comb-like polycarboxylate esters with nanosteric repulsion at a distance of ≈ 11 nm. In order to organize a stable 3D-printing technology, it is also necessary to select the appropriate optimal fillers that provide the necessary physical, mechanical and operational characteristics to the hardened nanocomposite. **Results.** The effectiveness of three-dimensional printing calls for the coordinated operation of a construction-grade 3D-printer. In this regard, it is necessary to have concrete pumping equipment that is able to pump the initial nanocomposition through flexible pipelines at a certain speed. It is necessary to consider the influence of pressure and volume to increase the power of the concrete pump motor by 14–17%, and at the same tine reduce the level of vibrations. **Discussion.** Digital 3D-technologies reveal unique opportunities for innovative production of three-dimensional construction objects and engineering structures. Technological quality management of 3D-printing depends on the correct alignment of the printer mechanisms, and the reduction of defective products can be achieved by adjusting the molding parameters of building nanocomposites. The structure-forming curing of Portland cement nanocomposites is based on the formation of fractal structures of calcium hydrosilicate clusters with dimensions of 47–51 nm, that form nanoaggregates (125–132 nm), which gradually cement the fillers due to adhesive interactions. The high demand for the corresponding equipment only strengthens the advantages of 3D-additive technologies: its practical waste-free operation, low power consumption of 3D-printers, time reduction of design-to-completion process by 8–11 times. **Conclusions.** Technological managing of concrete pump equipment for 3D-additive printing of building nanocomposites reduces energy costs by 26–29%, and at the same time reduces the level of vibration.

KEYWORDS: additive nanotechnology, 3D-printer, digital construction, concrete pumps, 3D-printing of nanocompositions, quality management.

FOR CITATION: Ivanova O.V., Khalikov R.M., Salov A.S., Nizamutdinov M.Kh., Zinnatullin V.V. Technological equipment management for 3D additive printing of building nanocomposites. *Nanotechnologies in Construction.* 2021; 13(2): 117–123. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-117-123.

INTRODUCTION

Intensive work on creating breakthrough trends in the construction industry and high-tech equipment for 3D-additive technologies [1–3] as rapid prototyping tools continues in many countries. The operation and maintenance of technological and transport equipment in the course of 3D-printing of construction infrastructure does not fully meet modern requirements, there is no national standard for additive manufacturing. Therefore, the engineering of innovative approaches to equipment management that reliably ensures the production of three-dimensional building structures with increased technical and economic characteristics remains an urgent task.

In recent years, innovative approaches have appeared, for example, three-dimensional technologies for "printing" individual structures, buildings in the construction industry using fibers, which removes the need for traditional formwork. 3D-additive technologies are one of the most dynamically developing areas of autonomous

© Ivanova O.V., Khalikov R.M., Salov A.S., Nizamutdinov M.Kh., Zinnatullin V.V., 2021

"digital" production [4] and high-quality management of technical systems makes it possible to design a variety of architectural forms of construction.

The purpose of this article is to study the use of technological and transport equipment for 3D-printing of infrastructure buildings in the construction industry.

METHODS AND MATERIALS

3D-additive printing is based on the method of extrusion: molding of a building structure layer-by-layer by successive addition and subsequent curing of nanocomposite building materials. To ensure the appropriate pumping volume, the formed optimized homogeneous cement (less often modified gypsum) nanocomposition with mineral fillers must have the required rheology, the optimal plasticity limit is 1.0–2.5 kPa. Portland cement nanobinders allow for more selective control of the variation dynamics in strength and rheological characteristics, changes in durability during the operation of building structures. To control the rheological behavior of building nanocompositions in the process of 3D-printing, the effective technological characteristics of superplasticizers include comb-like polycarboxylate esters with nanosteric repulsion at a distance of ≈ 11 nm [5].

The print head of a 3D-printer is a nozzle from which a raw nanocomposition is squeezed out (extruded). The trajectory of the nozzle is determined by a digital CAD-program: after the complete application of one layer is completed, the working platform is moved down or up by the thickness of one layer, and other layers are "printed". With this technology, a special role is given to the speed of "printing", which should be optimal: that is, allow previously "printed" layers of the nanocomposite material to gain initial strength to ensure appropriate adhesion between the individual layers.

Construction of 3D-printing includes the stages of preparing a viscoplastic nanocomposite mixture, transporting it from the mixer via flexible pipelines to the extruder, extruding it with a 3D-printer nozzle, and hardening the printed layers of nanomaterial. Another significant feature of the additive technology method is the programming of the speed characteristics for feeding and laying the initial nanocomposition, taking into account the geometric dimensions (5–20 cm) of the printing nozzle (fig. 1).

It should be noted that in order to ensure a stable technology for layer-by-layer 3D-printing, the raw nanomaterial composition must have a high yield strength. Effective control of the rheology of nanocompositions in the course of 3D-printing is possible with the combined use of nanodisperse multidirectional viscosity modifiers, mechanical activation, and similar methods [6, 7]. Dynamic structure formation in multiphase (multicomponent) 3D-printing nanocompositions occurs due to the interaction of colloidal binders, nanosuspension of microfillers, etc. The method of fractal analysis of the structure-forming processes of nanocomposites allows us to clearly track the kinetics of hardening: as a result of polycondensation, multi-fractal aggregates of nanobinders are formed during rough adhesion of colloidal microparticles.

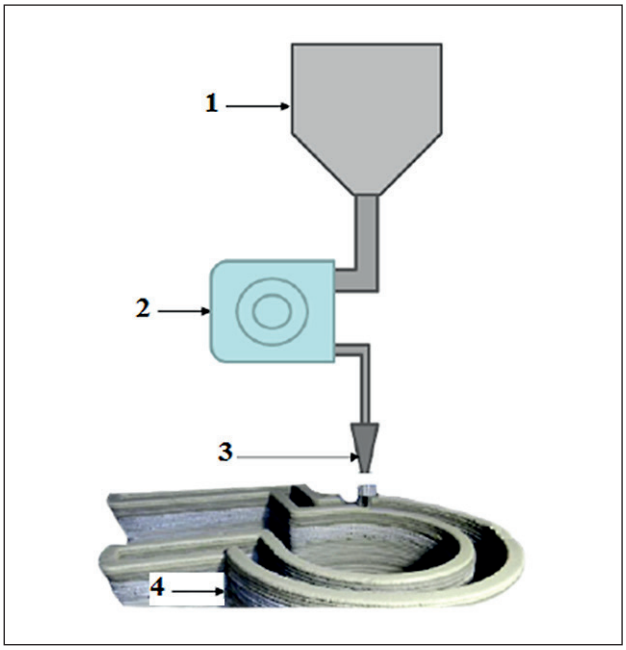


Fig. 1. **Traditional scheme of layer-by-layer extrusion of nanocomposition in 3D-additive technology:**
1– raw material container; 2– concrete pump;
3 – 3D-printer nozzle; 4 – building construction

The nanobinding composition in 3D-printing technology should be "laid" in even layers and at the same time stay in one place, i.e. be quite rigid. At the same time, the nanobinders design faces the technological challenge of reducing the setting time: not to "clog" the nozzle of the 3D-printer, and also to "have time" to form an adhesion with the previous layer. The layer height of 2–3 cm is selected experimentally: when laying a new layer, the previous layers must have sufficient strength: 1.5–2 MPa when compressed in the cured state. Thixotropic agents (for example, bentonite) affect the processability of construction 3D-printing through modification of the hardening kinetics.

A technology is proposed [8], when in the process of extrusion of the initial nanocomposition, spatulas (mounted on the feed nozzle) align the surface of 3D-printing. It should be noted that in this case, a thixotropic nanocomposition of 3D-additive technologies is selected, i.e. under physical and mechanical influence, the viscosity decreases sharply, which is restored quite quickly in a few minutes.

The problem of control and regulation of the optimal characteristics of nanocompositions for 3D-printing is

also solved by the introduction of multidirectionally acting chemical nanoadditives. For example, in the article [9], a composition was selected for 3D-printing: cement, sand (size 2 mm), microsilica and 1% polycarboxylate superplasticizer. The hardening was slowed down (regulated) by nanoadditives of 0.5% citric and nitrotrimethylphosphonic acids, and aluminum salts in an acidic medium were used as a setting catalyst [10]. In addition, the raw nanocomposition was reinforced with a polypropylene fiber with a length of 12 mm to reduce deformation.

RESULTS

The efficiency of three-dimensional printing provides for the coordinated functioning of the construction 3D-printer and the pumping of raw nanocomponents. In this regard, it is necessary to have pumping (screw, piston, centrifugal) equipment capable of pumping and feeding the initial nanocomposition with a certain discharge speed and geometric accuracy, which is provided by a robotic system for automatically moving the nozzle (injector) of the 3D-printer head.

The most important requirement for concrete pumping equipment in the process of 3D-printing is the ability to pump nanocomposite mortar horizontally and (or) vertically for tens of meters through flexible pipes. In accordance with the requirements of the technological regime in 3D-additive technologies, the main function of the electric drive is to ensure the stable operation of the concrete pump [11–14]. When choosing the power of electric motors for concrete pumps in the process of 3D-printing, working with a variable load: the maximum pressure is Pmax at the outlet of the pump pumping the nanocomposition and the volume of the nanocomposite mixture is V (fig. 2), the power of electric drives is overestimated taking into account the heaviest starts.

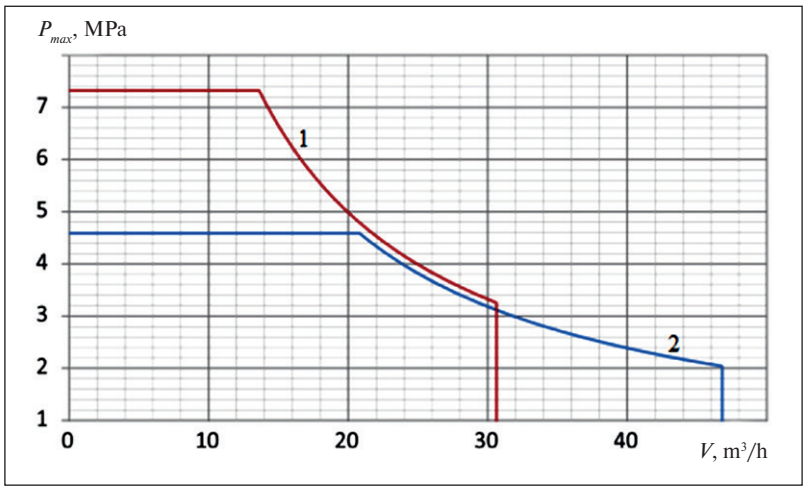


Fig. 2. **Controlled dynamics of the 3D-printer concrete pump efficiency in the mode of:** 1 – high pressure; 2 – maximum pumped volume

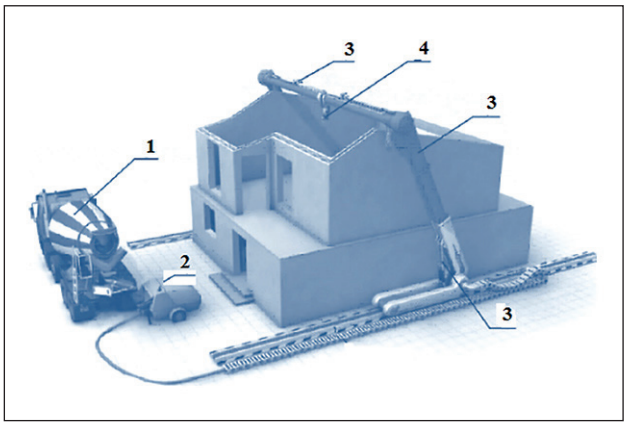


Fig. 3. **Portal 3D-printer for "printing" low-rise buildings:** 1 – concrete mixer truck with nanocomposite raw materials; 2 – electric pump; 3 – movement mechanisms; 4 – extruder nozzle

It should be noted that the maximum values of the pressure Pmax and the volume of the pumped nanocomposition V cannot be achieved simultaneously. The effective power of the electric drive at the nominal operating mode of the concrete pump varies from 320 kW to 470 kW. Taking into account the influence of limiting factors allows for increase in power of the concrete pump motor by 14–17%, reduces energy costs by 26–29%, and simultaneously reduces the level of vibration. When using an asynchronous electric motor between it and the concrete pump, it is necessary to install a mechanical transmission, which reduces the reliability of the electric drive, increases its weight and increases vibrations; the problem is solved by using electric motors that have a low angular speed of the shaft: wave electric drives and motors with a rolling rotor.

In industrial conditions, employees of the Ufa State Petroleum Technical University built a one-story small-sized pavilion using the AMT S1160 pilot 3D-printer. Automated devices of portal 3D printers, which operate in angular coordinates and are driven by electric drives, are the most economical due to the control of reliability in the construction of low-rise buildings and building structures (fig. 3).

Technological managing of the 3D-printing concrete pump is carried out automatically by electronic equipment; additionally, all functions can be easily maintained manually, which allows the concrete pump to continue working if the control unit or sensors fail. It should be noted that before the concrete pump is fully powered, a starting mixture or a cement "milk" should be used: a mobile mixture of cement and water. The

autonomous water washing system in 3D-additive technologies allows to quickly clean the tubes (flexible hoses), the drum mixer of concrete mixers from the adhering residues of construction nanosolvent. Therefore, for reliable managing of high-quality operation of technological equipment in the process of 3D-printing, appropriate water treatment is necessary (at low temperatures – clean warm water) [15, 16].

DISCUSSION

Digital 3D-additive technologies reveal unique opportunities for the production of three-dimensional construction objects and engineering structures, which are in high demand in the XXI century. Technical disadvantages of additive technologies such as vertical surface irregularities or the appearance of microcracks due to uneven shrinkage are gradually minimized. The popular developments of the corresponding equipment only strengthen the advantages of 3D-additive technologies: practical waste-free operation; low power consumption and noiselessness of 3D-printers; reduction of the time from design to completion by 8–11 times. The quality of 3D-printing depends on the correct alignment of the printer mechanisms, and the reduction of defective products (construction objects) can be achieved by adjusting the molding parameters. Due to the intelligent algorithms of the optimized CAD-program, it is possible to reduce the number of test passes of the 3D-printer.

The solidification time of nanoconcrete compositions in the process of 3D-printing can be up to several hours, so to increase the speed, it is necessary to dry the printed layers. One of the promising solution to this disadvantage is the addition of technogenic waste to concrete nanocompositions [17], for example, the reuse of building materials [18]. By reducing the cost of 3D-additive technologies in the future, within the framework of the life cycle concept, it is possible to accelerate the design, construction of three-dimensional buildings and reconstruction.

It should also be noted that the operation of most 3D-printers is carried out in the formless molding of building structures. The addition of 2-3% of the sodium silicate production waste into the composition of nanocompositions during 3D-additive printing makes it possible to accelerate the setting and at the same time increase the strength characteristics. In the process of 3D-printing of structures with a high coefficient of reinforcement (steel fibers, basalt, glass, carbon fibers), it is technologically important to be able to place the building nanocompositions with ease.

The development of 3D-additive technologies requires an integrated approach to the study of building nanomaterials under operating conditions, especially taking into account changes in the human environment in specific conditions. New challenges of increased environmental pressures require new solutions to optimize the following interaction: “human ↔ nanomaterial ↔ habitat”. Therefore, the development of the basic foundation for the creation, production, operation, disasembling and reuse of a new generation of “green” nanocomposites is an important interdisciplinary task.

The improvement of trouble-free and reliable management and good performance of a construction 3D-printer can be carried out at the expense of unloaded redundancy [19]. The electronic control unit for positioning the nozzle of the extruder, the monitoring cameras for the 3D-printing process [20] allow to control the design stages of construction objects. One of the promising technologies for producing nanodispersions from secondary concrete is the cavitation grinding technology [21, 22]: when the rotor rotates in the working chamber of the pump, high-frequency acoustic vibrations occur, accompanied by cavitation and hydrodynamic phenomena, under the action of which nanoparticles of building materials are crushed.

Sensors that allow synchronous monitoring of the structure-forming processes of nanocomposites enable optimal hardening of the “printed” layers of 3D-additive printing of building constructions. The structure-forming curing of Portland cement nanocomposites is based on the formation of fractal structures of clusters of calcium hydrosilicates with dimensions of 47–51 nm, forming nanoaggregates (125–132 nm) [23] with a rough surface of nanocomposites, which, due to adhesive interactions, gradually cement fillers. Technological manage of concrete pumping equipment [24] for 3D-additive printing of building nanocomposites allows for high resistance to mechanical influences on side fences [25].

Optimal quality management [26] of the entire technological process for 3D-printing of construction objects based on nanocomposites involves taking into account the quality indicators of building materials, buildings and structures, engineering equipment, etc. The quality indicators of nanocomposite raw materials contained in the standards, such as durability, recoverability, transportability, as well as the condition of buildings, structures and their elements, engineering equipment, tooling and tools (defect-free state, reliability and safety), do not fully cover the problem of quality management. This problem can be solved by the introduction of the quality management system standard GOST R ISO 9001-2015 at construction enterprises, which involves establishing feedback from consumers.

The design of the quality management process structure [27] in accordance with the requirements of the ISO 9001 standard reflects the need to form a system of responsibility for 3D-additive printing. The monitoring mechanism, as well as corrective and preventive measures for the compliance of the production of three-

dimensional structures and the quality of products with established external and internal requirements, implements assessments for goals in the field of technological equipment management.

The operation and maintenance of technological equipment in the course of 3D-printing of construction infrastructure requires the appropriate organization of certification and licensing of transport systems [28]. Currently, technological management of 3D-additive printing equipment for building nanocomposites is possible at the stage involving concrete mixers for the delivery of concrete nanomixtures.

The quality of applied concrete in the process of 3D-printing of building nanocomposites depends largely on the cost-effective transportation of the finished nanocrete mixture prepared at the plant. The use of a concrete mixer truck makes it possible to increase the productivity of 3D-additive technology and optimize the costs of preparing and delivering concrete [29, 30]. Concrete mixers can also be used to deliver metered components of a concrete nanomixture, prepare it en route or upon arrival at a construction site for 3D-additive printing.

The concrete mixer truck is a rotating drum mounted on the frame of an automobile chassis, and inside the drum there are two spiral blades, during the rotation of which the components of the nanoconcrete mixture are maintained in a thixotropic state. A characteristic feature of the concrete mixer truck with mixers is a constant angle of inclination from 10 to 15 degrees of the container for mixing cement-sand nanosolution. The closed rotating drum preserves the uniformity of the 3D-additive printing concrete nanomixture and protects it from external negative factors, thereby maintaining the necessary performance characteristics of the nanocomposition during transportation.

Currently, in the process of 3D-printing, concrete mixers with hydraulic drives are used, which are much lighter compared to a mechanical transmission, and also has the ability to continuously adjust the drum speed in the range of 0–20 revolutions per minute. The hydraulic pump of the hydraulic drive is driven by a diesel engine of the concrete mixer truck or a separate engine, and the control device [31] allows to set the speed of rotation of the diesel engine depending on the rotation speed of the mixing drum. Concrete mixers with a mixer from Russian manufacturers are represented by models that are equipped with an individual power plant, an autonomous drum with a volume of up to 12 m^3.

The reasonably calculated cost of delivery of concrete nanomixtures in the course of 3D-additive printing makes it possible to quickly select concrete mixers of the appropriate size, depending on the distance of nanocomposites transportation, the volume of the drum capacity, technical characteristics and working conditions (temperature fluctuations from –20 to +40°C). The best option for transporting the nanoconcrete mixture at distances from 4 to 6 km are concrete mixers with a volume of 6–8 m^3.

In the market of concrete mixers of the Russian Federation, about 70% is the share of "Tuymazinsky Plant of concrete trucks" (Republic of Bashkortostan). For example, the plant produces TZA/KAMAZ concrete mixers (with a capacity of 5–12 m^3), which are intended for transportation to laying sites or concrete-feeding devices (concrete pumps and stationary concrete pumps). The TZA concrete mixer truck effectively combines transportation to the installation site at the construction site and the supply of concrete mix (up to 50 m^3/h) to the required height – 28.4 m, which allows you to maintain optimal homogeneity of the concrete nanocomposition of 3D-additive printing during transportation and pumping.

CONCLUSION

Technological equipment management for 3D additive printing of building nanocomposites reduces energy costs by 26–29%, and at the same time reduces the level of vibration. The advantages of additive 3D-printing technologies in the construction of buildings and structures are as follows: digital robotization of the construction process, time reduction from design to completion by 8–11 times, etc. The optimal choice for transporting the nanoconcrete mixture for 3D additive printing of building nanocomposites at distances from 4 to 6 km is the concrete mixer trucks with a volume of 6–8 m^3.

REFERENCES

1. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. The control of rheological behaviour for 3D-printable building mixtures: experimental evaluation of «nano» tools prospects. *Nanotechnologies in Construction*. 2019;11(3):325–334. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334.

2. Kolesnikov A.G. Modernization of the construction of the extruder of a construction 3D-printer and the selection of compositions for it. *Urbanistics*. 2019;2:64-70. Available from: doi: 10.7256/2310-8673.2019.2.29597.

3. Slavcheva G.S., Akulova I.I., Vernigora I.V. Concept and effectiveness of 3D printing for urban environment design. *Housing Construction*. 2020;3:49-55. Available from: doi: 10.31659/0044-4472-2020-3-49-55. (In Russian).

4. Sergeyeva O.Yu. Additive technologies and 3D modeling. *Nanotechnologies in Construction*. 2018;10(4):142–158. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158.

5. Khalikov R.M., Ivanova O.V., Korotkova L.N., Sinitsin D.A. Supramolecular impact mechanism of polycarboxylate superplasticizers on controlled hardening building nanocomposites. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(5):250–255. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-250-255.

6. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(3):130–139. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139.

7. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S. et al. Nanotechnologies: are view of inventions and utility models. Part V. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(6):331–338. Available from: doi: 10.15828/2075- 8545-2020-12-6-331-338.

8. Perkins I., Skitmore M. Three-dimensional printing in construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*. 2015;15(1):1–9.

9. 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):1221–1232.

10. Asprone D., Auricchio F., Menna C. et al. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach. *Construction and Building Materials*. 2018;165:218–231. Available from: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018.

11. Komarinsky M.V., Chervova N.A. Transport of concrete mix in the construction of unique buildings and structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015;1(28):6–31.

12. Ivanova O.V., Korotkova L.N., Khalikov R.M. Optimized control of the functioning of electrical equipment in 3D printing. In: Prospects for the development of processing technologies and equipment in mechanical engineering: Collection of articles of the 6th All-Russian Conf. Kursk: SWSU; 2021. p. 88–91.

13. Egorova N.V., Ivanova N.K., Komkov V.G. Constructions of concrete pumps. *Scientific notes TOGU*. 2018;9(2):1052–1057.

14. Ivanova O.V., Korotkova L.N., Fattakhov M. M. et al. Reliable quality management of electrical equipment functioning in 3D additive technologies. *Electrotechnical and Information Complexes and Systems*. 2020;16(3):43–49.

15. Vazdaev K.V., Ivanova O.V., Khalikov R.M. et al. Quality management of the functioning of the technological water supply line with the use of modern sensors. *Construction and Technogenic Safety*. 2018;13(65):127–132.

16. Ivanova O.V., Khalikov R.M., Korotkova L.N. Effective management of electrotechnical equipment of technological scheme of production of qualitative water. *Electrotechnical and Information Complexes and Systems*. 2018;14(2):21–27.

17. Khalikov R.M., Ivanova O.V. Technological schemes of solution of ecological problems of regional production of materials. *Nauka-Rastudent.ru*. 2014;3(03):10.

18. Pustovgar A.P., Adamtsevich A.O., Volkov A.A. Technology and organization of additive construction. *Industrial and civil construction*. 2018;9:12–20.

19. Pavlov A.P., Dvoryankin A.O. Ensuring the reliability and operability of 3D printers. *Recovery. Modernization*. 2020:8:20–25. Available from: doi: 10.31044/1684-2561-2020-0-8-20-25. (In Russian).

20. Luneva D.A., Kozhevnikova E.O., Kaloshina S.V. Application of 3D printing in construction and prospects of its development. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. *Construction and architecture*. 2017;8(1):90–101.

21. Gusev B.V. Concrete with fillers of various dispersion and their nanomodification. *Nanotechnologies in Construction*. 2019;11(4):384–393. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-384-393.

22. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D., Potapova V.A. Concretes with nanoadditive of fired recycled concrete. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(5):245–249. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249.

23. Sinitsin D.A., Khalikov R.M., Bulatov B.G. et al. Technological approaches to directed structure formation of construction nanocomposites with increased corrosion resistance. *Nanotechnologies in Construction*. 2019;11(2):153–164. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164.

24. Pudovkin A.N., Sinitsin D.A., Salov A.S. et al. *Technological processes of concrete mix production. Equipment, mechanization, automation*. Ufa: USPTU; 2019.

25. Strizhnev I.V., Frolov Yu.A., Kinev S.A. et al. *Side fence*. Russian Federation Patent 102944 U1. 2011-03-20.

26. Ivanova O.V. *Dictionary of basic terms of quality management*. Ufa: BashSU Publishing House; 2014.

27. Savelyeva N.A., Chernyshev A.N. Evaluation of construction products in the quality management system. *Audit and financial analysis*. 2008;3:312–318.

28. Ivanova O.V. *Certification and licensing in the field of transport systems*. Ufa: USPTU; 2019.
29. Bedov A., Salov A., Gabitov A. CAD methods of structural solutions for reinforced concrete frame. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018;365:052032.
30. Semin A.S., Vakhrushev S.I. Technical and economic comparison of variants of concrete mixers of various sizes. Modern technologies in construction. *Theory and practice*. 2018;2:445–454.
31. Frey V., Ruf B. *Control device for concrete mixer truck*. Russian Federation Patent 2467872 S2. 2012-11-27.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Ivanova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the "Technical Systems Control and Service" Department, Institute of Architecture and Civil Engineering, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8366-2004, e-mail: olgachemist@mail.ru

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

Alexander S. Salov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the "Highways and Structural Engineering" Department, Institute of Architecture and Civil Engineering, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; e-mail: salov@list.ru

Malik Kh. Nizamutdinov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the "Technical Systems Control and Service" Department, Institute of Architecture and Civil Engineering, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; e-mail: nizmal@mail.ru

Vyacheslav V. Zinnatullin, senior lecturer at the "Technical Systems Control and Service" Department, Institute of Architecture and Civil Engineering, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; e-mail: slawa915@yandex.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 09.03.2021.
Revised: 28.03.2021.
Accepted: 31.03.2021.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-117-123
УДК 666.9.03
Тип статьи: Обзорная статья

Технологичное управление оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов

О.В. Иванова, Р.М. Халиков*, А.С. Салов, М.Х. Низамутдинов, В.В. Зиннатуллин
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия
***Контакты:** e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Разработка инновационных подходов цифрового управления оборудованием, обеспечивающих получение 3D-строительных конструкций с высокими эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками, остается актуальной задачей. Эксплуатация и обслуживание технологического оборудования в процессе 3D-печати строительных объектов не всегда соответствует современным требованиям управления техническими системами. **Методы и материалы.** 3D-печать основана на методе экструзии: послойного формования строительной конструкции добавлением и достаточно быстрым последующим отверждением нанокомпозиционного стройматериала. Формуемая оптимизированная нанокомпозиция должна иметь требуемую реологию, что обеспечивают гребнеобразные поликарбоксилатные эфиры с наностерическим отталкиванием на расстоянии ≈ 11 нм. Для организации стабильной технологии 3D-печати необходимо также подобрать соответствующие оптимальные заполнители (наполнители), которые обеспечивают необходимые физико-механические и эксплуатационные показатели затвердевшему нанокомпозиту. **Результаты.** Эффективность трехмерной печати предусматривает скоординированное функционирование строительного 3D-принтера. В связи с этим необходимо иметь бетононасосное оборудование, которое способно перекачивать по гибким трубопроводам исходную нанокомпозицию с определенной скоростью. Учет влияния факторов величин давления и объема позволяет увеличить мощность бетононасосного электродвигателя на 14–17%, а также синхронно понижает уровень вибраций. **Обсуждение.** Цифровые 3D-технологии раскрывают уникальные возможности инновационного производства трехмерных строительных объектов и инженерных конструкций. Технологичное управление качеством 3D-печати зависит от правильной юстировки механизмов принтера, а уменьшение бракованных изделий можно добиться за счет корректировки параметров формования строительных нанокомпозитов. Структурообразовательное отверждение портландцементных нанокомпозитов основано на образовании фрактальных структур кластеров гидросиликатов кальция размерами 47–51 нм, формирующих наноагрегаты (125–132 нм), которые за счет адгезионных взаимодействий постепенно цементируют наполнители. Востребованные разработки соответствующего оборудования только усиливают преимущества 3D-аддитивных технологий: практическая безотходность; невысокое энергопотребление 3D-принтеров; сокращение времени от проектирования до завершения работ в 8–11 раз. **Заключение.** Технологичное управление бетононасосным оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов сокращает энергетические затраты на 26–29%, а также одновременно понижает уровень вибраций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аддитивные нанотехнологии, 3D-принтер, цифровое строительство, бетононасосы, 3D-печать нанокомпозиций, управление качеством.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Иванова О.В., Халиков Р.М., Салов А.С., Низамутдинов М.Х., Зиннатуллин В.В. Технологичное управление оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 117–123. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-117-123.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивные работы по созданию прорывных трендов в стройиндустрии и высокотехнологичного оборудования для 3D-аддитивных технологий [1–3] в качестве инструментов быстрого прототипирования продолжаются во многих странах. Эксплуатация и обслуживание технологического и транспортного оборудования в ходе 3D-печати строительной инфраструктуры не полностью соот-

© Иванова О.В., Халиков Р.М., Салов А.С., Низамутдинов М.Х., Зиннатуллин В.В., 2021

ветствуют современным требованиям, отсутствует национальный стандарт для аддитивного производства. Поэтому разработка инновационных подходов управления оборудованием, надежно обеспечивающих получение трехмерных строительных конструкций с повышенными технико-экономическими характеристиками, остается актуальной задачей.

В последние годы появились инновационные подходы, например, трехмерные технологии «печати» отдельных конструкций, зданий в стройиндустрии с использованием фиброволокон, которые позволяют обходиться без традиционной опалубки. 3D-аддитивные технологии являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений автономного «цифрового» производства, [4] и качественное управление техническими системами дает возможность конструировать разнообразные архитектурные формы сооружений.

Цель данной статьи – исследование применения технологичного и транспортного оборудования для 3D-принтерной печати инфраструктурных зданий в стройиндустрии.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

3D-аддитивная печать основана на методе экструзии: послойного формования строительной конструкции последовательным добавлением и последующим отверждением нанокомпозиционного стройматериала. Для обеспечения соответствующего объема перекачки формуемая оптимизированная гомогенная цементная (реже модифицированная гипсовая) нанокомпозиция с минеральными наполнителями (заполнителями) должна иметь требуемую реологию, оптимальный предел пластичности составляет 1,0–2,5 кПа. Портландцементные нановяжущие позволяют более избирательно управлять динамикой вариаций прочностных и реологических характеристик, изменениями стойкости в процессе эксплуатации строительных конструкций. Для управления реологическим поведением строительных нанокомпозиций в процессе 3D-печати эффективные технологичные характеристики суперпластификаторов проявляют гребнеобразные поликарбоксилатные эфиры с наностерическим отталкиванием на расстоянии ≈ 11 нм [5].

Печатающая головка 3D-принтера представляет с собой сопло, из которого выдавливается (экструдируется) сырьевая нанокомпозиция. Траектория сопла определяется цифровой CAD-программой: после завершения полного нанесения одного слоя рабочая платформа сдвигается вниз или поднимается вверх на толщину одного слоя, и «печатаются» другие слои. При данной технологии особую роль отводится скорости «печати», которая должна быть оптимальной, т.е. позволять ранее «напечатанным» слоям нанокомпозиционного материала набирать первоначальную прочность, чтобы обеспечить соответствующую адгезию между отдельными слоями.

Строительная 3D-печать включает этапы приготовления вязкопластичной нанокомпозиционной смеси, транспортирования из смесителя по гибким трубопроводам в экструдер, экструдирование соплом 3D-принтера, твердение напечатанных слоев наноматериала. Другой существенной особенностью метода аддитивной технологии является программирование скоростных характеристик для подачи и укладки исходной нанокомпозиции с учетом геометрических размеров (5–20 см) печатающего сопла (рис. 1).

Следует отметить, что для обеспечения устойчивой технологии послойной 3D-печати наносырьевая композиция должна быть с высоким пределом текучести. Эффективное управление реологией нанокомпозиций в ходе 3D-печати возможно при совместном использовании нанодисперсных модификаторов вязкости, механоактивации и аналогичных способов [6, 7]. Динамичное структурообразование в многофазных (мультикомпонентных) нанокомпозициях 3D-печати происходит за счет взаимодействия коллоидных вяжущих, наносуспензии микронаполнителей и др. Метод фрактального анализа структурообразовательных процессов нанокомпозитов позволяет четко отслеживать кинетику твердения: в результате поликонденсации при шероховатом сли-

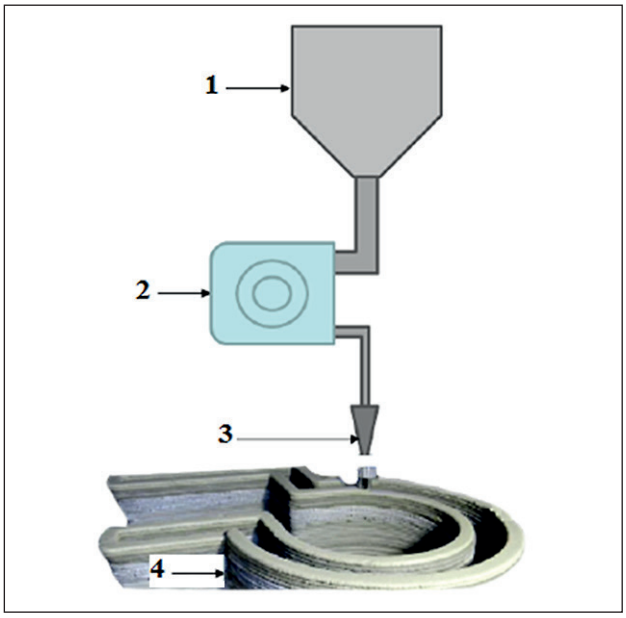


Рис. 1. **Традиционная схема послойной экструзии нанокомпозиции в 3D-аддитивной технологии:** 1 – резервуар сырья; 2 – бетононасос; 3 – сопло 3D-принтера; 4 – строительная конструкция

пании коллоидных микрочастиц образуются мультифрактальные агрегаты нановяжущих.

Нановяжущая композиция в технологии 3D-печати должна «укладываться» ровными слоями и в то же время не растекаться, т.е. быть достаточно жесткой. Одновременно к нановяжущим предъявляется технологический вызов понижения времени схватывания: не «забивать» сопло 3D-принтера, а также «успеть» формировать адгезию с предыдущим слоем. Высота слоя 2–3 см подбирается экспериментально: при укладке нового слоя предыдущие слои должны иметь достаточную прочность – 1,5–2 МПа при сжатии в отвержденном состоянии. Тиксотропные агенты (например, бентонит) влияют на технологичность строительной 3D-печати через модификацию кинетики твердения.

Предложена технология [8], когда в процессе экструзии исходной нанокомпозиции шпатели (установленные на подающем сопле) выравнивают поверхность 3D-печати. Следует отметить, что в этом случае подбирается тиксотропная нанокомпозиция 3D-аддитивных технологий: при физико-механическом воздействии резко уменьшается вязкость, которая восстанавливается достаточно быстро через несколько минут.

Управление и регулирование оптимальных характеристик нанокомпозиций для 3D-печати осуществляется также введением разнонаправленно действующих химических нанодобавок. Например, в статье [9] для 3D-печати подобрали композицию: цемент, песок (крупность 2 мм), микрокремнезем и 1% поликарбоксилатный суперпластификатор. Замедление (регуляция) твердения выполняли нанодобавками 0,5% лимонной и нитротриметилфосфоновой кислот, а в качестве катализатора схватывания использовали соли алюминия в кислой среде [10]. Кроме того, сырьевую нанокомпозицию армировали полипропиленовым волокном длиной 12 мм для уменьшения деформации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффективность трехмерной печати предусматривает согласованное функционирование строительного 3D-принтера и перекачки исходных сырьевых нанокомпонентов. В связи с этим необходимо иметь насосное (шнековое, поршневое, центробежное) оборудование, способное перекачивать и подавать исходную нанокомпозицию с определенной скоростью выгрузки и геометрической точностью, что обеспечивается роботизированной системой для автоматического перемещения сопла (инжектора, форсунки) печатающей головки 3D-принтера.

Важнейшее требование к бетононасосному оборудованию в процессе 3D-печати – способность перекачивать по гибким трубам нанокомпозиционный строительный раствор по горизонтали и (или) вертикали на десятки метров. В соответствии с требованиями технологического режима в 3D-аддитивных технологиях основной функцией электропривода является обеспечение устойчивой работы бетононасоса [11–14]. При выборе мощности электродвигателей для бетонных насосов в процессе 3D-печати, работающих с переменной нагрузкой: максимальное давление – Pmax на выходе насоса, перекачивающего нанокомпозицию и объемом нанобетонной смеси – V (рис. 2), мощность электроприводов завышается с учетом самых тяжелых пусков.

Следует отметить, что максимальные значения давления Pmax и объема перекачиваемой нанокомпозиции V одновременно не могут быть достигнуты. Полезная мощность электропривода при номинальном режиме функционирования бетононасоса варьирует от 320 до 470 кВт. Учет влияния лимитирующих факторов позволяет увеличить мощность бетононасосного электродвигателя на 14–17%, сокращает энергетические затраты на 26–29%, а также синхронно понижает уровень вибраций. При использовании асинхронного электродвигателя между ним и бетононасосом необходима установка механической передачи, что снижает надежность работы электропривода, увеличивает его массу и усиливает вибрации; проблема решается использованием электродвигателей, которые имеют низкую угловую скорость вала: волновые электроприводы и двигатели с катящимся ротором.

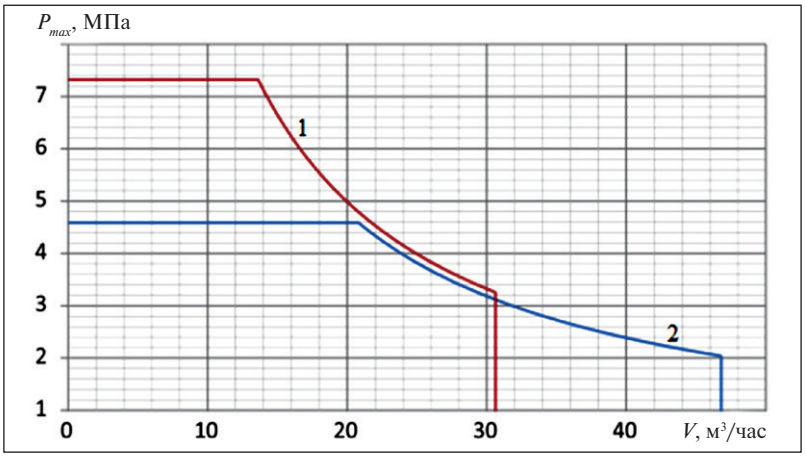


Рис. 2. **Управляемая динамика эффективности бетонного насоса 3D-принтера в режиме:** 1 –высокого давления; 2 – максимального перекачиваемого объема

В производственных условиях сотрудниками Уфимского государственного нефтяного технического университета с использованием опытно-промышленного 3D-принтера AMT S1160 был построен одноэтажный малогабаритный павильон. Автоматизированные устройства портальных 3D-принтеров, которые действуют в угловых координатах и приводятся в движение электроприводами, являются наиболее экономичными за счет управления надежности при строительстве малоэтажных зданий и строительных конструкций (рис. 3).

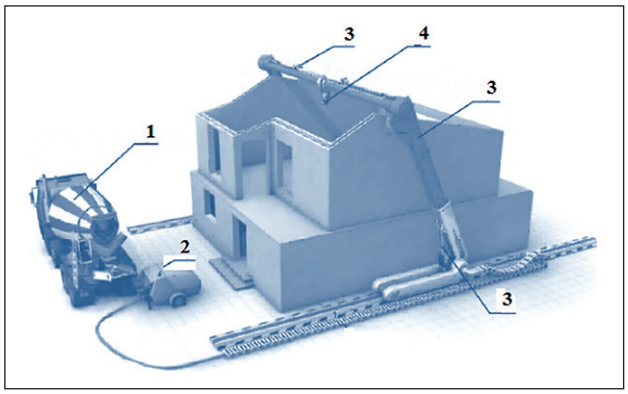


Рис. 3. **Портальный 3D-принтер для «печати» малоэтажных зданий:** 1 – автобетоносмеситель с нанокомпозиционным сырьем; 2 – электронасос; 3 – механизмы передвижения; 4 – сопло экструдера

Технологическое управление бетононасосом 3D-печати осуществляется автоматически электронным оборудованием; дополнительно все функции могут легко обслуживаться вручную, что при выходе из строя блока управления или датчиков позволяет бетононасосу продолжать работу. Следует отметить, что запуск бетононасоса осуществляется пусковой смесью или цементным «молочком»: подвижной смесью цемента с водой. Автономная система промывки водой в 3D-аддитивных технологиях позволяет оперативно очистить трубки (гибкие шланги), барабанный миксер автобетоносмесителей от прилипших остатков строительного нанораствора. Поэтому для надежного управления качественного функционирования технологического оборудования в процессе 3D-печати необходима соответствующая водоподготовка (при низких температурах – чистая теплая вода) [15, 16].

ОБСУЖДЕНИЕ

Цифровые 3D-аддитивные технологии раскрывают уникальные возможности производства трехмерных стройобъектов и инженерных конструкций, которые востребованы в XXI столетии. Технические недостатки аддитивных технологий: неровности вертикальной поверхности, появление микротрещин из-за неравномерной усадки - постепенно минимизируются. Востребованные разработки соответствующего оборудования только усиливают преимущества 3D-аддитивных технологий: практическая безотходность; невысокое энергопотребление и бесшумность 3D-принтеров; сокращение времени от проектирования до завершения работ в 8–11 раз. Качество 3D-печати зависит от правильной юстировки механизмов принтера, а уменьшение бракованных изделий (строительных объектов) можно добиться за счет корректировки параметров формования. Благодаря интеллектуальным алгоритмам оптимизированной CAD-программы удается сократить число тестовых проходов 3D-принтера.

Время отверждения нанобетонных композиций в процессе 3D-печати может составлять несколько часов, поэтому для увеличения скорости приходится просушивать напечатанные слои. Одним из перспективных трендов минимизации этого недостатка является добавление в бетонные нанокомпозиции техногенных отходов [17], например, повторного использования стройматериалов [18]. За счет удешевления 3D-аддитивных технологий в рамках концепции жизненного цикла в будущем возможно ускорение проектирования, возведения трехмерных зданий и реконструкция.

Следует также отметить, что функционирование большинства 3D-принтеров осуществляется в безопалубочном формовании строительных конструкций. Введение в состав нанокомпозиций в ходе 3D-аддитивной печати 2–3% отходов производства силиката натрия позволяет ускорить схватывание, одновременно увеличить прочностные характеристики. В процессе 3D-печати конструкций с высоким коэффициентом армирования (стальными фибрами; базальтовыми, стеклянными, углеродными волокнами) технологически важны удобоукладываемость строительных нанокомпозиций.

При разработке 3D-аддитивных технологий необходим комплексный подход по исследованию строительных наноматериалов в условиях эксплуатации, особенно с учетом изменений в среде обитания человека в конкретных условиях. Новые вызовы возрастающих экологических нагрузок требуют поиска путей решения оптимизации взаимодействия «человек ↔ наноматериал ↔ среда обитания». Поэтому разработка фундаментальных основ создания, получения, эксплуатации, разрушения и вторичного использования нового поколения «зеленых» нанокомпозитов является важнейшей междисциплинарной задачей.

Разработка безотказного и надежного управления и обеспечения работоспособности строительного

3D-принтера может осуществляться за счет ненагруженного резервирования [19]. Электронный блок управления позиционирования сопла экструдера, камеры мониторинга за процессом 3D-печати [20] позволяют контролировать стадии конструирования строительных объектов. Одной из перспективных технологий получения нанодисперсий из вторичного бетона является кавитационная технология измельчения [21, 22]: при вращении ротора в рабочей камере насоса возникают высокочастотные акустические колебания в сопровождении кавитационных и гидродинамических явлений, при действии которых происходят измельчение наночастиц стройматериала.

Датчики, которые позволяют синхронно отслеживать структурообразовательные процессы нанокомпозитов, дают возможность оптимального твердения «напечатанных» слоев 3D-аддитивной печати строительных конструкций. Структурообразовательное отверждение портландцементных нанокомпозитов основано на образовании фрактальных структур кластеров гидросиликатов кальция размерами 47–51 нм, формирующих наноагрегаты (125–132 нм) [23] с шероховатой поверхностью нановяжущих, которые за счет адгезионных взаимодействий постепенно цементируют наполнители (заполнители). Технологичное управление бетононасосным оборудованием [24] для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов позволяет обеспечить высокую сопротивляемость к механическим воздействиям на бортовые ограждения [25].

Оптимальное управление качеством [26] всего технологического процесса 3D-печати строительных объектов на базе нанокомпозитов предполагает учет показателей качества стройматериалов, зданий и сооружений, инженерного оборудования и др. Показатели качества нанокомпозиционного сырья, содержащиеся в стандартах: долговечность, восстанавливаемость, транспортабельность, а также показатели конструкций, зданий и сооружений и их элементов, инженерного оборудования, оснастки и инструмента: бездефектность, надежность, безопасность – не охватывают полностью проблему управления качеством. Этот пробел можно восполнить внедрением на строительных предприятиях 3D-печати стандарта системы менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 9001-2015, который предполагает создание обратной связи с потребителями.

Конструирование процессной структуры менеджмента качеством [27] согласно требованиям стандарта ИСО 9001 отражает необходимость формирования системы ответственности 3D-аддитивной печати. Механизм мониторинга, а также корректирующие и предупреждающие мероприятия соответствия производства трехмерных сооружений и качества продукции установленным внешним и внутренним требованиям реализуют оценки достижения целей в области управления технологическим оборудованием.

Эксплуатация и обслуживание технологического оборудования в ходе 3D-печати строительной инфраструктуры требует соответствующей организации сертификации и лицензирования транспортных систем [28]. В настоящее время технологичное управление оборудованием 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов возможно на стадии использования автобетоносмесителей для доставки бетонной наносмеси.

Качество бетонирования в процессе 3D-печати строительных нанокомпозитов зависит во многом от экономически выгодной транспортировки готовой нанобетонной смеси, приготовленной на заводе. Использование автобетоносмесителя позволяет увеличить производительность 3D-аддитивной технологии, оптимизировать затраты на приготовление и доставку бетона [29, 30]. Автобетоносмесители могут использоваться также для доставки дозированных компонентов бетонной наносмеси, приготовления ее в пути следования или по прибытии на строительный объект 3D-аддитивной печати.

Автобетоносмеситель представляет собой вращающийся барабан, установленный на раме автомобильного шасси, а внутри барабана имеются две спиральные лопасти, при вращении которых компоненты нанобетонной смеси поддерживаются в тиксотропном состоянии. Характерной особенностью автобетоносмесителя с миксерами является постоянный угол наклона от 10 до 15 градусов емкости для замеса цементно-песочного нанораствора. Закрытый вращающийся барабан сохраняет однородность бетонной наносмеси 3D-аддитивной печати и защищает от воздействия внешних негативных факторов, и тем самым поддерживаются необходимые эксплуатационные характеристики нанокомпозиции при транспортировке.

В настоящее время в процессе 3D-печати используются автобетоносмесители с гидроприводами, которые значительно легче по сравнению с механической трансмиссией, а также имеют возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения барабана в диапазоне 0–20 оборотов в минуту. Гидронасос гидропривода приводится в действие дизельным двигателем автобетоносмесителя или отдельным двигателем, а устройство управления [31] позволяет устанавливать скорость вращения дизельного двигателя в зависимости от оборотов вращения смесительного барабана. Автобетоносмесители с миксером от российских производителей представлены моделями, которые оснащены индивидуальной силовой установкой, функционирующим в автономном режиме барабаном объемом до 12 м^3.

Обоснованно рассчитанная стоимость доставки бетонных наносмесей в ходе 3D-аддитивной печати дает возможность оперативно выбирать автобетоносмесители подходящего типоразмера в зависимости от дальности транспортировки нанокомпозиций, объема емкости барабана, технических характеристик и условий работы (колебания температуры от –20 до +40°С). Лучшим вариантом для транспортировки нанобетонной смеси на расстояния от 4 до 6 км являются автобетоносмесители объемом 6–8 м^3.

На рынке автобетоносмесителей Российской Федерации около 70% составляет доля «Туймазинского завода автобетоновозов» (Республика Башкортостан). Например, завод производит автобетоносмесители TZA/KAMAZ (емкостью 5–12 м^3), которые предназначены для транспортировки в места укладки или бетоноподающие устройства (автобетононасосы и стационарные бетононасосы). Автобетононасос-смеситель TZA эффективно сочетает транспортировку к месту укладки на строительном объекте и подачу бетонной смеси (до 50 м^3/ч) на требуемую высоту 28,4 м, что позволяет сохранить оптимальную гомогенность бетонной нанокомпозиции 3D-аддитивной печати при перевозке и перекачке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Технологичное управление оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов сокращает энергетические затраты на 26–29%, а также одновременно понижает уровень вибраций. Преимуществами аддитивных технологий 3D-печати в строительстве зданий и сооружений являются цифровая роботизация строительного процесса, сокращение времени от проектирования до завершения работ в 8–11 раз и др. Оптимальным вариантом транспортировки нанобетонной смеси на расстояния от 4 до 6 км для 3D-аддитивной печати строительных нанокомпозитов являются автобетоносмесители объемом 6–8 м^3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Колесников А.Г. Модернизация конструкции экструдера строительного 3D-принтера и подбор составов для него // Урбанистика. – 2019. – № 2. – С. 64-70. – DOI: 10.7256/2310-8673.2019.2.29597.

3. Славчева Г.С., Акулова И.И., Вернигора И.В. Концепция и эффективность применения 3D-печати для дизайна городской среды // Жилищное строительство. – 2020. – № 3. – С.49-55. – DOI: 10.31659/0044-4472-2020-3-49-55.

4. Сергеева О.Ю. Аддитивные технологии и 3D-моделирование // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 4. – С. 142–158. – DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158.

5. Халиков Р.М., Иванова О.В., Короткова Л.Н. и др. Супрамолекулярный механизм влияния поликарбоксилатных суперпластификаторов на управляемое твердение строительных нанокомпозитов // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 5. – С. 250–255. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-250-255.

6. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 130–139. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139.

7. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С. и др. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 331–338. – DOI: 10.15828/2075- 8545-2020-12-6-331-338.

8. Perkins I., Skitmore M. Three-dimensional printing in construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*. 2015;15(1):1–9.

9. 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):1221–1232.

10. Asprone D., Auricchio F., Menna C. et al. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach. *Construction and Building Materials*. 2018;165:218–231. Available from: doi: 10.1016/j.conbuildmat. 2018.01.018.

11. Комаринский М.В., Червова Н.А. Транспорт бетонной смеси при строительстве уникальных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. –2015. – № 1 (28). – С. 6–31.

12. Иванова О.В., Короткова Л.Н., Халиков Р.М. Оптимизированное управление функционированием электротехнического оборудования в 3D печати // Сб. статей 6-й Всерос. конф. «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении». – Курск: ЮЗГУ, 2021. – С. 88–91.

13. Егорова Н.В., Иванова Н.К., Комков В.Г. Конструкции бетонных насосов // Ученые записки ТОГУ. – 2018. – Том 9, № 2. – С. 1052–1057.

14. Иванова О.В., Короткова Л.Н., Фаттахов М.М. и др. Надежное управление качеством функционирования электротехнического оборудования в 3D аддитивных технологиях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2020. – Том 16, № 3. – С. 43–49.

15. Важдаев К.В., Иванова О.В., Халиков Р.М. и др. Управление качеством функционирования технологической линии водоснабжения с использованием современных датчиков // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 13 (65). – С. 127–132.
16. Иванова О.В., Халиков Р.М., Короткова Л.Н. Результативное управление электротехническим оборудованием технологической схемы производства качественной воды // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – Том 14, № 2. – С. 21–27.
17. Халиков Р.М., Иванова О.В. Технологические схемы решения экологических проблем регионального производства материалов // Nauka-Rastudent.ru. – 2014. – № 3 (03). – С. 10.
18. Пустовгар А.П., Адамцевич А.О., Волков А.А. Технология и организация аддитивного строительства // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 9. – С. 12–20.
19. Павлов А.П., Дворянкин А.О. Обеспечение надежности и работоспособности 3D-принтеров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2020. – № 8. – С. 20–25. DOI: 10.31044/1684-2561-2020-0-8-20-25.
20. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Том 8, № 1. – С. 90–101.
21. Гусев Б.В. Бетоны с наполнителями различной дисперсности и их наномодификация // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 4. – С. 384–393. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-384-393.
22. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д., Потапова В.А. Бетоны с нанодобавкой из обожженного вторичного бетона // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 5. – С. 245–249. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249.
23. Синицин Д.А., Халиков Р.М., Булатов Б.Г. и др. Технологичные подходы направленного структурообразования нанокомпозитов строительного назначения с повышенной коррозионной устойчивостью // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 2. – С. 153–164. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164.
24. Пудовкин А.Н, Синицин Д.А., Салов А.С. и др. Технологические процессы производства бетонной смеси. Оборудование, механизация, автоматизация. – Уфа: УГНТУ, 2019. – 198 с.
25. Стрижнев И.В., Фролов Ю.А., Кинев С.А. и др. Бортовое ограждение // Патент RU 102944 U1. Опубл. 20.03.2011.
26. Иванова О.В. Словарь основных терминов управления качеством. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2014. – 68 с.
27. Савельева Н.А., Чернышев А.Н. Оценка строительной продукции в системе менеджмента качества // Аудит и финансовый анализ. – 2008. – № 3. – С. 312–318.
28. Иванова О.В. Сертификация и лицензирование в сфере транспортных систем. – Уфа: УГНТУ, 2019. – 44 с.
29. Bedov A., Salov A., Gabitov A. CAD methods of structural solutions for reinforced concrete frame. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018;365:052032.
30. Семин А.С., Вахрушев С.И. Технико-экономическое сравнение вариантов автобетоносмесителей различных типоразмеров // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2018. – Т. 2. – С. 445–454.
31. Фрей В., Руф Б. Устройство управления автобетоносмесителем // Патент RU 2467872 C2. Опубл. 27.11.2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и сервис в технических системах», архитектурно-строительный институт, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8366-2004, e-mail: olgachemist@mail.ru

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

Салов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», архитектурно-строительный институт, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, e-mail: salov@list.ru

Низамутдинов Малик Халилович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и сервис в технических системах», архитектурно-строительный институт, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, e-mail: nizmal@mail.ru

Зиннатуллин Вячеслав Валерьевич, старший преподаватель кафедры «Управление и сервис в технических системах», архитектурно-строительный институт, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия, e-mail: slawa915@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 09.03.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 28.03.2021.
Статья принята к публикации: 31.03.2021.

THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-124-130
Article type: Original article

Resource-saving nanotechnologies in waste water treatment

O.N. Borisova*, **I.G. Doronkina**, **V.M. Feoktistova**
Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, Russia
*** Corresponding author:** e-mail: borisova-on@bk.ru

ABSTRACT: This paper examines the prospective field of nanotechnology development in the area of wastewater treatment and water processing. **The introduction** showed (no need for comma) that the Russian problem is not the lack of water – but its quality. Water treatment is needed to prevent water facilities from pollution. Self-cleaning methods cannot withstand the massive impact of pollutants, some of which are unknown for their natural reproduction processes. The degree of purification depends on the concentration of the pollution and the content of different substances within it. The use of nanotechnologies in effluent neutralization (EN) processes will allow removing insoluble sludges, wastes of chemical industry, and harmful microorganisms. **Methods and materials.** This work presently uses analytical methods to study nanotechnologies. Nanofiltration and membrane methods are frequently used in wastewater treatment. Methods such as arc charge, ablation, and gas-phase deposition are applied to obtain carbon nanotubes. **Results.** The authors describe promising carbon nanomaterials for production of membranes used in purification/decontamination/desalination of water. The new generation of membranes for filtering, disinfection, and desalination have been shown. These include graphene and carbon nanotubes which present absolutely new nanomaterial. **Discussion.** It was revealed that such membranes are characterized not only by a high water percolation rate, but also by extraordinary selectivity. Such membranes are particularly promising in the field of biomedicine, as large membranes are necessary for the nanofiltration and desalination processes. **Conclusions.** This paper examines new ecological and resource-saving technologies making possible improved research, industrial and commercial activities (which by means of practical implementation of inventions will lead to improved products), technologies and organizational decisions. One of the most promising areas for the development of nanotechnologies applied in waste water treatment is the advancement of membrane technology employing innovative materials, specifically graphene and carbon nanotubes.

KEYWORDS: wastewater treatment, nanofiltration, technology, nanomembranes, graphene, carbon nanotubes.

FOR CITATION: Borisova O.N., Doronkina I.G., Feoktistova V.M. Resource-saving nanotechnologies in waste water treatment. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 124–130. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-124-130.

INTRODUCTION

One of the most important global goals is to provide the inhabitants of our planet with drinking water of high quality.

Water is the most widespread substance in nature (the hydrosphere occupies 71% of the Earth's surface). The absence of water makes the existence of microorganisms impossible. The Earth's freshwater plays a special role, and its total volume is not large – just 2.5% of the ocean's water mass (approximately 30 billion km^3). Earth's largest freshwater resource is in Baikal lake – which is approximately 23 thousand km^3. The vast majority of freshwater is hard-to-reach for people in daily life due to it being frozen and in the underground water-bearing stratum. Therefore, it should be an urgent task to prevent the pollution of the bodies of water which are the sources of fresh water [1].

People actively consume water after it has been treated and processed in numerous activities: at home, in industrial and agricultural production, in some special industries (the food industry, the production of semiconductors and luminophores, and nuclear technologies) as well as for medical treatment, chemical analyses, etc.

The world's technological progresses, which are reliant on the use of natural resources as raw materials, and on the development of the technosphere within the area occupied by cities and towns having proper infrastructure. This has predictably led to ecologically dangerous conditions for human existence. This has occurred due to the production and accumulation of large amounts of waste,

© Borisova O.N., Doronkina I.G., Feoktistova V.M., 2021

the negative impact on the environment of industrial and household activities due to exhausted natural resources – mainly freshwater.

METHODS AND MATERIALS

About half of consumed water turns into wastewater which after being treated is discharged into water reservoirs.

Effluents (Ef) are waters used in industrial or technological processes, and are polluted with different substances as well as sewage (atmospheric) waters, harmful material released into the atmosphere in the form of industrial emissions, and return to the Earth as rainfall which pollute bodies of water and soil [2, 3].

Residential wastewater is removed by the sewage system into waste treatment plants. Rainwater gets into other sewage systems and after mechanical treatment is discharged into surface water bodies. Purified effluents from small industrial plants (car washes, electrodepositions, etc.) can also flow into the stormwater sewage system. After extensive purification, landfills with water treatment waste produced by large-scale industrial plants can also be discharged into bodies of surface water [4].

In fact, due to the negative environmental impact of pollutants which are discharged in the air, and the discharge of containments into bodies of water, the penetration of toxic effluents (which form on solid waste landfills) into water used on soil, watershed areas, and bodies of water (surface and underground) become intensively polluted. Hence, the task of great importance is to provide improved quality control for water in rivers and water reservoirs, and at the same time to design up-to-date wastewater treatment facilities, which use modern wastewater treatment technology [5].

The Russian problem is not the lack of water, but its quality. Water in almost all cities (there are more than a thousand cities in Russia) is supplied not from water from wells but from the surface drainage system. About 75% of apartments in cities consume water of low quality. And, it is not unlikely, that dangerous microorganisms – as well as toxic substances which are widely used in industry – inevitably get into water pipes and then into the water supply system. A typical city wastewater treatment plant cannot neutralize such effluents. Approximately 30% of Russia's population consumes water without any treatment, and that is especially dangerous for health. No more than 10% of the water is purified in Russian regions such as Belgorod and Kursk, Adygea, Buryatia and Tyva.

Russia's management of its water supply is dramatically behind that of EU countries. According to legislation of the Russian Federation, water must be tested by 54 criteria for purity. In most regions – due to the lack of equipment – this requirement is not met. One can compare that with Great Britain where drinking water must meet (or pass) 70 criteria for purity, and additionally one hundred thousand additional tests are typically performed. In Britain the percentage of drinking water inspections which do not meet requirements is a mere .01%, whereas in Russia more than 40% of drinking water fails prescribed criteria for purity. That indicates a high percentage of drinking water is not safe for consumption. For example, test results of the water in the Volga river show the water is in the third (the lowest) class for purification. Water treatment facilities in most cities in Volga take water from the river and are required to meet criteria in the first class – the highest one. However, in water purity tests the presence of phenol, oil products, copper and zinc salts in Volga water exceeds the maximum allowable concentration 5–12 times [7].

Typically, countries in the EU apply UF-technologies to treat and purify water, Russia uses mainly chlorum to purify water (the Rublev water station in Moscow employs ozon).

According to WHO's data, $1 dollar invested in the maintenance of clean drinking water can save from $4 to $12 dollars in the healthcare system.

Currently, the number of landfills in Russia which are purified does not exceed 65%. Therefore, it is of great importance to provide engineering that assures the protection of the environment, specifically, to solve the technological task of water conditioning and purification, to recycle the water supply, and to prevent the pollution of bodies of water and to minimize desiccation. Effluent purification is an integral part of ecological engineering, ecosystem services and environmental objects under protection [8–13].

Water purification is needed to prevent the pollution of major water resources. The natural cleansing-process which occurs in nature cannot withstand massive impacts of pollutants, and some of them are unknown for natural reproduction processes. The degree of purification of water depends on the concentration of pollution and the type of substances it contains. The use of nanotechnologies in the effluent neutralization (EN) processes will allow removing insoluble sludges, wastes of chemical industry and harmful microorganisms [12–14].

The terms "nanofiltration" and "nanofiltration membrane" appeared only in the late 1980^s due to rapid development of nanotechnologies. Typically, it is assumed that effective size of pores of a nanofiltration membrane is several nanometers, though this range sometimes is widened up to 100 nanometers (nanotechnological objects are commonly considered to have at least one dimension less than 100 nanometers). These membranes are in the middle position between ultrafiltration and reverse osmosis from the point of view of purification degree: they do not pass most part of organic molecules, almost all viruses and two (or more) valency ions. All three types of films work at nano-level. Thus, one can say, nanotechnolo-

gies had been used for water purification long before the term appeared. Now application of these membranes is spreading in Russia and other countries. In Switzerland, for example, plants of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis provide citizens with drinking water from lakes and karst subsoil water [15].

Nanofiltration and membrane methods are increasingly used to purify water. Membrane methods to separate liquid (and gas) mixtures are based on the application of a semipermeable membrane of molecule sizes (thickness is not more than 100 nanometers) with selective permeability. Semi-permeability is the characteristic of the most tissues of microorganisms.

Nanotechnology is defined as a set of methods and tools which provide controlled creation of the objects comprising elements with sizes less than 100 nm (at least in one dimension) and, as a result of this, attaining completely new properties. The studies performed in many laboratories around the world show that such properties of synthesized materials as large specific area, high permeability, catalytic activity, resistance to biofouling, functionalization ability et al. make it possible to use them for obtaining pure water.

Silver nanoparticles are used to decontaminate drinking water and to decrease biofouling of membranes. Nano-TiO_2 is characterized by high photocatalytic activity, and industrial products for clearing water from organic admixtures have been designed on the basis of it.

To control quality of water, the detectors employing magnetic, optic and electric properties of nanoparticles (nano-Au,- SiO_2,- CdSe et al.) and nanocomposites (there are commercial products) are offered. All these nanomaterials cannot be considered in one paper. This paper deals with two allotropic modifications of carbon – nanotubes and graphene, which are promising for a new generation of filters and the creation of membranes and filters possessing completely new properties.

A new generation of membranes used for filtration, disinfection and desalination is made on the base of graphene and carbon nanotubes which are characterized by a high coefficient of water permeability, excellent selectivity, resistance to biofouling and strong antibacterial properties [16]. So far only a small percentage of such membranes and filters are being tested around the world, but their commercialization is highly likely to be launched due to the explosive growth of graphene production.

Graphene is a two-dimensional crystal consisting of one layer of carbon atoms. It can be presented in the form of a graphite plane surface, separated from crystal. Carbon nanotubes (CNT) are jointless cylinders from one or several graphene layers, which the diameter is from .7 nm to 100 nm and the length is up to several centimeters with open or closed ends (fig. 1).

It is considered, for the first-time carbon nanotubes were discovered and described in the early 1990^s [17]. Soon, unique electric, mechanic, optic and other properties of carbon nanotubes were demonstrated. They were quite promptly applied in practice. The production volume of CNT grew at least 10 times within the years 2006–2012 [18]. CNT in the form of films, coatings, as well as a part of composites are used in microelectronics, automobile, aerospace and military industries, in production of special clothes, sport equipment and medicine articles. According to specialists' forecast, a new exciting area of application is water purification. Experts of RUSNANO's project attempted to apply nanotechnologies in wastewater treatment, regard nanotubes as a prospective material [19].

Today there are the following methods to produce carbon nanotubes: arc charge, ablation and gas-phase deposition.

Arc charge: obtaining (carbon nanotubes are described in the present paper) electric charge in plasma which burns with helium. This process can be performed with the use of special technical equipment for fullerene production. However, this method also employs other modes of arc burning. Burning. For example, current density is decreased and cathodes with great thickness are used. To provide a helium atmosphere it is necessary to increase the pressure of this chemical element. Carbon nanotubes are obtained by spraying. To increase their numbers, a catalyst is needed to be introduced into

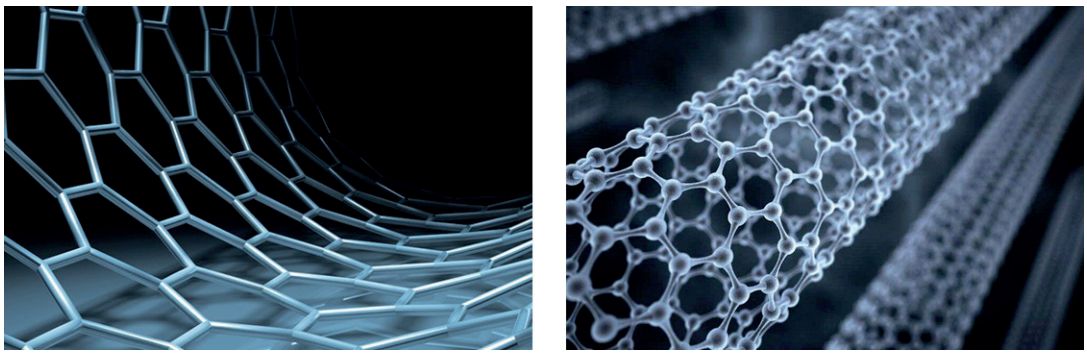


Fig. 1. **Graphene, carbon nanotube**

a graphite core. Quite often this is a mixture of different groups of metals. Then the pressure and spraying method are changed. That results in a cathode deposit in which carbon nanotubes are formed. They grow perpendicular to the cathode and bunch. Their length is 40 microns.

Ablation was invented by Richard Smalley. The main idea is that different graphite surfaces vaporize in a reactor working under high temperatures. Carbon nanotubes are formed as a result of graphite vaporizing in the bottom of reactor.

They are cooled and collected with the use of a cooling surface. In the first case, the amount of elements was 60%, in this method this indicator increased by 10%. The Laser method is the most expensive, as it is the most efficient one. As a rule, one-layer nanotubes are obtained due to reaction temperature change.

Vapor-phase deposition. The Carbon vapor deposition method was invented in the late 50s. No one could have expected that it would be used in production of carbon nanotubes. The first step is to prepare the surface with a catalyst. The catalyst can be fine particles of different metals, for example, cobalt, nickel and other. Nanotubes appear from the catalyst layer. Their thickness directly depends on the size of the catalyzing metal. The surface is heated to high temperatures and then gas (methane, acetylene, ethanol et al.) with carbon is supplied. Ammonia is used as an additional technical gas. This method to produce nanotubes is the most widespread. The process runs at different industrial plants, so to produce a large number of tubes requires less expense. Another advantage of this method is that vertical elements can be obtained from any metal particles which are catalysts. Production (carbon nanotubes are described in details) became possible due to research by Sumio Iijima who studied using a microscope their appearance caused by carbon synthesis.

Membranes consisting of straight, open, vertical nanotubes in a dense matrix allow using unique transport properties of these carbon nanomaterials.

As a rule, nanotubes are grown on the base layer, for example, by means of chemical vapor deposition (CVP) method, then the gaps between them are filled in such a way to make water flow to pass only along the channels of nanotubes. Sometimes CNT are synthesized in macro pores of base layers (for example, of aluminum oxide). Self-assembly approaches are used too.

According to authors' estimations [20], membranes with .03% nanotubes in a dense matrix can be more efficient than all available reverse osmose systems for sea water desalination. Solvated ions which are larger than inner diameter of nanotube remain in sea water. Passing of finer ions can be stopped by functionalization of CNT. For example, membranes of nanotubes with diameter about 2 nm in silica nitride synthesized by authors [21] owing to functionalization of CNT did not pass 91% of ions with a size .95 nm when filtering. Calculations of molecular dynamics prove efficiency of CNT usage in sea water desalination [22].

RESULTS

Promising carbon nanomaterial for the creation of membranes for purification/decontamination/desalination of water is the use of graphene and carbon nanotubes. These elements are completely new representatives of nanomaterials. They possess frame structures which differ from graphite or diamond by their characteristics. That is why they are used much more often than other materials.

For many years researchers have been using carbon nanotubes where application is not limited only by one area. The market position of this material is weak as there are some problems concerning large-scale production. Another important issue is a high cost of CNT which is about $120 dollars for 1 gram.

Graphene membranes and filters can be used in wastewater treatment in all stages: from drawing of water from natural sources to the places where it will be consumed or used. These are new generation of membranes for filtration, disinfection, desalination. Very low resistance is possible when water passes through nanotubes, and capillary-like effect in graphene reduces resource and energy-consumption. Membranes are resistant to biofouling, and they possess antibacterial properties which can be increased by the functionalization of Ag or TiO_2 nanoparticles or antibiotics. Functionalization with CNT makes it possible to create analogues of aquaporin "water channels". Due to high rate of water penetration in combination with extra selectivity graphene membranes can efficiently derive freshwater from the sea.

Today only a small part of graphene membranes and filters are being studied in pilot tests. Scarce information on commercial use is available. The filters Seldon Nanomesh TM is an exception. According to its manufacturers, filtration material consists of carbon nanotubes, absorbent coal and fibers. Filters remove 99.999% of bacteria, 99.99% of viruses, colourants, lead and cadmium, pesticides and herbicides, Ce137 etc. They are applied in water purification processes in dwelling blocks and in portable devices used in army or humanitarian aid.

DISCUSSION

As it is known, in the 2004 future Nobel Prize Laureates Andre Geim and Konstantin Novoselov obtained innovative material, having separated layers from regular graphite by means of a tape. They were awarded with the Nobel Prize in Physics in 2010 "for advanced experiments with two-dimensional material – graphene." By that time many laboratories all around the world had received the results which indicated particular electronic, optic, me-

chanical, thermal and other properties of graphene. Recently unique membranes on the basis of graphene have been produced.

The authors of [23] created pores with .4 nm diameter (void density is 1012/cm^2) in graphene by means of ion bombardment method and further etching process, they were the first who demonstrated selectively fast transfer of ion in one atom membrane. Permeability is 50 times more than that of regular membranes used in water desalination. The authors consider their membrane are particularly promising for biomedicine use as big membranes are needed in nanofiltration or desalination processes. The scaling problem can be solved by applying so-called graphene oxide instead of graphene which can be easily obtained as a result of the delamination of preoxygenated graphite into separate layers.

The authors of [24] created a membrane with one micron thickness. It consists of layers of graphene oxide interconnected in the way similar to the multilayer structure in mother-of-pearl. Such membrane is impermeable for all gas, vapours and liquids, but water easily passes through it.

The researchers explain that as a result is the formation of the graphene nanocapillary grid in the graphene oxide layers. Diffusion of many molecules is blocked by the reduction of capillaries under low moisture and/or by filling them with water. The new work [25] shows that such a membrane is characterized not only by a high rate of water penetration but also by extraordinary selectivity. Hydrated ions with radiuses more than .45 nm cannot pass through it, and smaller ions are efficiently captured into capillaries (according to authors' data [26–28], phenomena take place if the pressure on the ion is > 50 atm). A challenge for future research is to decrease the size of capillaries in order to use such membranes in the desalination of sea water.

CONCLUSION

Carbon nanotubes play an important role in innovative technologies. Many experts predict growth of this area in the near future. Dramatic increase of productive capacities will cause a decrease of product prime cost. Having dropped in price, demand for nanotubes will increase, and that will make them an indispensable material for many devices and equipment.

Unfortunately, one should admit, despite notable Russian scientific achievements, production of grapheme, CNT and new materials based on them is restricted, and it is too early to speak about implementation of membranes of a new generation.

The reasons for slow progress are the technical obstacles, and high cost for manufacturing. But these are temporary problems. One need merely to remember the history of the development of polymer membranes, which first laboratory samples were obtained in our country about 50 years ago. Within several years, the assortment of membrane and membrane elements was widened, and purposeful cooperation between researchers, technologists and government bodies launched rapid development of membrane technologies. Hopefully, membrane technologies will keep the same scenario. At this, one shouldn't forget important issues concerning the safety of application of nanomaterials. Certainly, the probability that – when using membranes – carbon nanotubes or graphene nanoplates will get into environment is rather low. But this may happen in the production process, recycling, transportation or utilization. It is necessary to use unique characteristics of synthesized materials to avoid possible toxic effects.

Development of new ecological resource-saving technologies will lead to improved research, production and commercial activities, when implemented in practice results in the appearance of better products, technologies and organizational solutions. One of the most promising areas for development of nanotechnologies concerning water treatment and water conditioning is membrane technology with innovative materials. Expansion in the application of nanotechnology in this area will inevitably will lead to increased content of nanomaterials in Russia's vast and critical water resources. Therefore, the development of analytical methods aimed at determination of nanoparticles becomes a separate issue. Methods proposed today are complex, too expensive and restricted.

REFERENCES

1. Borisova O. Classification of waste water by different criteria and the methods of waste water treatment. *Waste water treatment*. 2019;3:57–61.

2. Shubov L.Ya., Borisova O.N., Doronkina I.G. *Technology of waste water treatment. Control of environment quality*. Educational book for discipline "Engineering protection of environment in management of wastes from production and consumation". Moscow, 2013.

3. Shubov L.Ya., Borisova O.N., Doronkina I.G. Technologies of waste water treatment. (engineering protection of hydrosphere). *Scientific and Engineering Aspects of Environmental Protection*. 2010;6:2–128.

4. Shubov L.Ya., Borisova O.N., Doronkina I.G. Increasing of ecoefficiency of waste water treatment technology. *Waste water treatment*. 2016;11:26–32.

5. Doronkina I.G., Borisova O.N. Ecological and economic efficiency of technological processes of wastewater treatment. *Service in Russia and Abroad*. 2015;4:112–12.

6. Shubov L.Ya., Borisova O.N., Doronkina I.G. On Improving the Eco-Efficiency of Wastewater Treatment Technologies. *Service in Russia and Abroad*. 2014;1:153–162.

7. Doronkina I.G., Borisova O.N. Waste water treatment in a modern city. *Slavic Forum*. 2020; 2: 146–158.

8. Shaytura S.V. Hybrid systems. In: Shaytura S.V. *Intelligent systems and technologies*. Burgas: Institute of Humanitarian Sciences, Economics and Information Technologies; 2016. p. 63–82.

9. Shaytura S.V. Mission is possible. *Slavic Forum*. 2012;1(1);47-52.

10. Shaytura S.V. Neural networks. In: Shaytura S.V. *Intelligent systems and technologies*. Burgas: Institute of Humanitarian Sciences, Economics and Information Technologies; 2016. p. 47–62.

11. Shaytura S.V. Nature protection technologies – the basis of the seventh technological paradigm. *Design Bureau*. 2017;3(128);12 – 14.

12. Kremena Stereva, Shaytura S.V. Using The Terrestrial Laser Scanning Technology For Detection Of Cracks In Rock Massifs. *Slavic Forum*. 2021;1(31):241-247.

13. Stereva Kremena, Postolovski A., Shaytura S.V. Using Mobile Laser Scanning In Road Safety Repair And Audit. *Slavic Forum*. 2021;1(31):248-257.

14. Bokareva E.V., Silaeva A.A., Borisova O.N., Doronkina I.G., Sokolova A.P. Analysis of the world and russian e-commerce market: development trends and challenges. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. 2018;7(4.38):387-392.

15. Borisova O.N., Silayeva A.A., Saburova L.N., Belokhvostova N.V., Sokolova A.P. Talent management as an essential element in a corporate personnel development strategy. *Academy of Strategic Management Journal*. 2017;16(S1):31-46.

16. Doronkina I.G., Borisova O.N. Ion-exchanged technologies of waste water treatment with the use of ionites. In: Science, education, production for solution of ecological problems. (Ecology-2020): Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference, in 2 volumes, devoted to 75th Anniversary of the Victory in Greate Patriotic War. Ufa; 2020. p. 291–296.

17. Ivanov L.A., Borisova O.N., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part I. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(1): 91–101. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-91-101.

18. Ivanov L.A., Kapustin I.A., Borisova O.N., Pisarenko Zh.V. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(2):71-76. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76.

19. Baumgartner H. Nanopores for clean drinking water. *Environment. Nanotechnology*. 2010;3:18–20.

20. Svitsov A.A. Membrane technologies in Russia. *The Chemical Journal*. 2010; 10: 22-24.

21. De Volder M.F.L., Tawfick S.H., Baughman R.H., Hart A.J. Carbon nanotubes: present and future commercial applications. *Science*. 2013;339:535–539.

22. Vigdorovich V.I., Mischenko S.V., Tkachev A.G. Nanostructured materials and technologies. State-of-art, problems and prospectives. *Transactions TSTU*. 2007;13(4):983.

23. Pendergast MT. M., Hoek E. M.V. Review of water treatment membrane nanotechnologies. *Energy & Environmental Science*. 2011;4:1946–1971.

24. Fornasiero F., Park H.G., Holt J.K., Stadermann M., Grigoropoulos C.P., Noy A. and Bakajin O. Ion exclusion by sub-2-nm carbon nanotube pores. *P. Natl. Acad. Sci. USA*. 2008;105:17250–17255.

25. Corry B. Water and ion transport through functionalised carbon nanotubes: applications for desalination technology. *Energy Environ. Sci*. 2011;4:751–759.

26. O'Hern S.C., Boutilier M.S., Idrobo J.-C., Song Y., Kong J., Laoui T., Atieh M., Karnik R. Selective ionic transport through tunable subnanometer pores in singllayer graphene membranes. *Nano Lett*. 2014;14:1234–1241.

27. Nair R.R., Wu H.A., Jayaram P.N., Grigorieva I.V., Geim A.K. Unimpeded permeation of water through helium-leak-tight graphene-based membranes. *Science*. 2012;335:442–444.

28. Joshi R.K., Carbone P., Wang F.C., Kravets V.G., Su Y., Grigorieva I.V., Wu H.A., Geim A.K., Nair R.R. Membranes precise and ultrafast molecular sieving through graphene oxide. *Science*. 2014;343:752–754.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oksana N. Borisova, Cand.Sci. (Eng.), Assistant Professor, Higher School of Service, Russian State University of Tourism and Service, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7391-6170, e-mail: borisova-on@bk.ru

Irina G. Doronkina, Cand.Sci. (Eng.), Director of Sport Department, Russian State University of Tourism and Service, ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-7354-4293, e-mail: dora1096@yandex.ru

Valentina M. Feoktistova, Cand.Sci. (Eng.), Assistant Professor, Higher School of Service, Russian State University of Tourism and Service, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8880-8941, e-mail: vfeoktistova@gmail.com

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 04.03.2021.
Revised: 29.03.2021.
Accepted: 02.04.2021.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-124-130
УДК 628.31+621
Тип статьи: Оригинальная статья

Ресурсосберегающие нанотехнологии в водоочистке

О.Н. Борисова*, И.Г. Доронкина, В.М. Феоктистова
Российский государственный университет туризма и сервиса, г. Москва, Россия
***Контакты:** e-mail: borisova-on@bk.ru

РЕЗЮМЕ: В работе рассмотрено перспективное направление развития нанотехнологий в области водоочистки и водоподготовки. Во **введении** показано, проблема в России заключается не в нехватке воды, а в ее качестве, очистка воды необходима для предотвращения загрязнения водных объектов, методы самоочищения не способны справиться с большими нагрузками загрязняющих веществ, многие из которых неизвестны для процессов естественного воспроизводства. Уровень очистки воды зависит от того, насколько она загрязнена и какие вещества в ней содержатся. Использование нанотехнологий в процессах нейтрализации сточных вод (СВ) позволит устранить нерастворимые осадки, отходы химической промышленности и вредные микроорганизмы. **Методы и материалы.** В настоящей работе применены аналитические методы использования нанотехнологий, все чаще в водоочистке используются нофильтрационные и мембранные методы. Для получения углеродных нанотрубок используются такие методы, как дуговой заряд, абляция и газофазное осаждение. **Результаты.** Приведены перспективные углеродные наноматериалы, для создания мембран для очистки/обеззараживания/опреснения воды. Показано новое поколение мембран для фильтрации, дезинфекции, опреснения: графен и углеродные нанотрубки – эти элементы являются абсолютно новыми представителями класса наноматериалов. **Обсуждение.** Установлено, что такие мембраны характеризуется не только высокой скоростью пропускания воды, но и исключительной селективностью. Такие мембраны особенно перспективны для биомедицины, поскольку большие мембраны необходимы для процессов нанофильтрации или опреснения. **Выводы.** Рассмотрены новые экологические, ресурсосберегающие технологии, которые приведут к совершенствованию научно-технической, производственной и коммерческой деятельности, которая через практическое использование идей и изобретений приведет к созданию и внедрению лучших продуктов, технологий и любых технических организационных решений. Одним из наиболее перспективных направлений развития нанотехнологий в области водоочистки и водоподготовки является мембранная технология с использованием инновационных наноматериалов: графена и углеродистых нанотрубок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоочистка, нанофильтрация, технология, наномембраны, графен, углеродистые нанотрубки.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Борисова О.Н., Доронкина И.Г., Феоктистова В.М. Ресурсосберегающие нанотехнологии в водоочистке // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 124–130. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-124-130.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших глобальных задач является обеспечение жителей нашей планеты качественной питьевой водой.

Вода – самое распространенное вещество в природе (на гидросферу приходится 71% поверхности Земли). Без воды существование живых организмов невозможно в принципе. Особую роль играют пресные воды Земли, общий объем которых невелик – всего 2,5% от массы океанских вод (примерно 30 млн км^3). Самые большие запасы пресной воды приходятся на Байкал – около 23 тысяч км^3. Подавляющее большинство пресной воды для людей в повседневной жизни труднодоступно, так как связано с полярными льдами и подземными водоносными горизонтами. Поэтому задачей первостепенной важности является предотвращение загрязнения водных объектов как источников пресной воды[1].

© Борисова О.Н., Доронкина И.Г., Феоктистова В.М., 2021

Человек интенсивно использует природную воду, после ее необходимой очистки и подготовки в своей хозяйственной деятельности – в быту, в промышленности, в сельскохозяйственном производстве, для ряда отраслей промышленности (пищевая промышленность, производство полупроводников и люминофоров, ядерные технологии), а также для медицинских целей, для проведения химических анализов и т. д.

Мировой технический прогресс, основанный на использовании природных ресурсов в качестве сырья и создании техносферы, представляющей собой территорию, занятую городами и поселками с соответствующей инфраструктурой, закономерно привел к тому, что существование человека стало экологически опасным, прежде всего из-за образования и накопления огромного количества отходов производства и потребления, из-за негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и бытовой деятельности, из-за истощения природных ресурсов – прежде всего, пресной воды.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Примерно половина потребляемой человечеством воды превращается в сточные воды, которые после очистки сбрасываются в водоемы.

Сточные воды (СВ) – это воды, бывшие в хозяйственном или технологическом использовании и загрязненные различными веществами, а также ливневые (атмосферные) воды, вредные вещества, поступающие в атмосферу с промышленными выбросами, они возвращаются с атмосферными осадками на Землю, загрязняя водоемы и почву[2, 3].

Бытовые сточные воды удаляются из мест образования канализационной системой на городские очистные сооружения. Ливневая вода поступает в собственную канализацию и после механической очистки сбрасывается в поверхностные водные объекты; в сеть ливневой канализации могут поступать также очищенные сточные воды малых промышленных предприятий – автомоек, гальванопокрытий и др. После глубокой очистки полигоны крупных промышленных предприятий также могут сбрасываться в поверхностные водные объекты [4].

Можно констатировать: вследствие негативного воздействия на окружающую среду выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов загрязняющих веществ в водные объекты, попадания токсичных фильтратов в грунтовые воды (образующиеся на объектах захоронения твердых бытовых отходов) водосборные площади и водные объекты (поверхностные и подземные) интенсивно загрязняются. Следовательно, актуальной задачей сегодняшнего дня является усиление контроля за качеством воды в реках и водохранилищах и одновременно создание современных очистных сооружений, использование современных технологий очистки сточных вод [5].

Проблема в России не в нехватке воды, а в ее качестве. Почти все города, а их в России более тысячи, снабжаются водой не из колодцев, а с поверхностного водосбора. Около 75% городских квартир потребляют водопроводную воду очень низкого качества, и не исключено, что опасные микроорганизмы, а также токсичные вещества, которые широко используются в промышленности и неизбежно попадают сначала в водопровод, а затем и в систему водоснабжения. Обычная городская система очистки воды не способна нейтрализовать такие воды. Примерно 30% населения России потребляет воду, которая вообще не была очищена, что очень опасно для здоровья. В таких регионах Российской Федерации, как Белгородская и Курская области, Адыгея, Бурятия и Тыва, очищается не более 10% воды[6].

Россия катастрофически отстает от стран ЕС в плане контроля за водоснабжением. В соответствии с законодательством Российской Федерации вода должна проверяться по 54 показателям (в большинстве регионов из-за отсутствия оборудования это правило соблюдается только на бумаге). Для сравнения: в Великобритании вода контролируется по 70 показателям, при этом ежегодно проводится около 100 тысяч тестов. Пробы воды, не соответствующие стандартам, в Великобритании составляют 0,01%, а в России – более 40%, что свидетельствует о питьевой непригодности такой воды. Например, вода в Волге относится к так называемому третьему (низшему) классу питьевой воды, а очистные сооружения большинства волжских городов, потребляющих воду из реки, рассчитаны на работу с первым – высшим классом. Содержание фенолов, нефтепродуктов, солей меди и цинка в волжской воде превышает ПДК в 5–12 раз [7].

В странах ЕС для очистки воды используются УФ-технологии, в России для очистки воды в основном используется хлор (на Рублёвской водопроводной станции в Москве для очистки воды используется озон).

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), инвестирование 1 доллара в развитие водоснабжения может сэкономить от 4 до 12 долларов в системе здравоохранения.

В настоящее время в России доля полигонов, проходящих очистку, не превышает 65%. В связи с этим особую роль играет инженерная охрана окружающей среды, а именно решение технологических задач водоподготовки, оборотного водоснабжения, предотвращение загрязнения водных объектов и их

истощения. Очистка СВ является неотъемлемой частью экологической инженерии, экосистемных услуг и объектов охраны окружающей среды [8–13].

Водоочистка необходима для предотвращения загрязнения водных объектов, процессы самоочищения которых не способны справиться с большими нагрузками загрязняющих веществ, многие из которых неизвестны для процессов естественного воспроизводства.Уровень очистки воды зависит от того, насколько она загрязнена и какие вещества в ней содержатся. Применение нанотехнологий в процессах обезвреживания СВ помогут устранить нерастворимые осадки, отходы химической промышленности и вредные микроорганизмы [12–14].

Термины «нанофильтрация» и «нанофильтрационная мембрана» появились только в конце 1980-х годов в связи с бурным развитием нанотехнологий. Обычно предполагается, что эффективный размер пор нанофильтрационной мембраны составляет несколько нанометров, хотя этот диапазон иногда расширяется до 100 нанометров (обычно предполагается, что нанотехнологические объекты хотя бы в одном измерении составляют менее 100 нанометров). Эти мембраны занимают промежуточное положение между ультрафильтрацией и обратным осмосом по степени очистки - они не пропускают через себя большинство органических молекул, почти все вирусы и два (или более) валентных иона. Все три типа пленок работают на наноуровне. Поэтому можно сказать, что нанотехнологии начали использоваться для очистки воды и водоочистки задолго до появления этого термина. Сейчас их использование расширяется в России и других странах. В Швейцарии, например, установки ультрафильтрации, нанофильтрации и обратного осмоса обеспечивают жителей качественной питьевой водой из озер и карстовых подземных источников [15].

Нанофильтрационные и мембранные методы все чаще используются для очистки воды. Мембранные методы разделения жидких (и газовых) смесей основаны на использовании полупроницаемых перегородок (мембран) молекулярных размеров (толщиной не более 100 нанометров), обладающих избирательной проницаемостью. Свойствами полупроницаемости обладает большинство тканей организмов.

Нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, позволяющих контролируемым образом создавать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм (хотя бы в одном измерении) и в результате приобретающие принципиально новые качества. Исследования, проведенные во многих лабораториях мира, показывают, что такие свойства синтезируемых наноматериалов, как большая удельная поверхность, высокая проницаемость, каталитическая активность, устойчивость к биообрастанию, возможность функционализации и др., позволяют эффективно использовать их для получения чистой воды.

Наночастицы серебра используются для обеззараживания воды в местах потребления и уменьшения биообрастания мембран. Нано-TiO_2 характеризуется высокой фотокаталитической активностью, на его основе разработаны промышленные продукты очистки сточных вод от органических примесей.

Для контроля качества воды предлагаются датчики, использующие магнитные, оптические и электронные свойства наночастиц (nano-Au,- SiO_2,- CdSe и др.) и нанокомпозитов (имеются коммерческие продукты). Все эти наноматериалы не могут быть рассмотрены в одной статье. Здесь будут представлены две аллотропные модификации углерода – нанотрубки и графен, перспективные для создания мембран и фильтров нового поколения и обладающие принципиально новыми качествами.

Новое поколение мембран для фильтрации, дезинфекции и опреснения представляет собой мембрану на основе графена и углеродных нанотрубок, характеризующуюся высоким коэффициентом пропускания воды, отличной селективностью, устойчивостью к биообрастанию и сильными антибактериальными свойствами [16]. Пока что лишь небольшой процент таких мембран и фильтров находится на стадии пилотных испытаний в мире, но их коммерциализация вполне реальна в связи с бурным ростом производства графена.

Графен представляет собой двумерный кристалл, состоящий из одного слоя атомов углерода. Его можно представить в виде одной плоскости графита, отделенной от кристалла. Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой бесшовные цилиндры из одного или нескольких слоев графена диаметром от 0,7 до 100 нм и длиной до нескольких сантиметров с открытыми или закрытыми концами (рис. 1).

Считается, что впервые углеродные нанотрубки обнаружили и описали в начале 1990-х гг. [17]. Вскоре были продемонстрированы их уникальные электрические, механические, оптические и другие свойства. От лабораторных исследований довольно быстро перешли к внедрению. Объем производства УНТ с 2006 по 2012 гг. вырос, по меньшей мере, в 10 раз [18]. Углеродные нанотрубки в виде пленок, покрытий в составе композитов используются в микроэлектронике, автомобильной, аэрокосмической и оборонной промышленности, в производстве спецодежды, спортивного снаряжения и медицинских товаров. По прогнозам специалистов, новая важная сфера применения – очистка воды. Экспертами проекта «РОСНАНО» по использованию нанотехнологий в водоочистке углеродные нанотрубки выделены как перспективный материал [19].

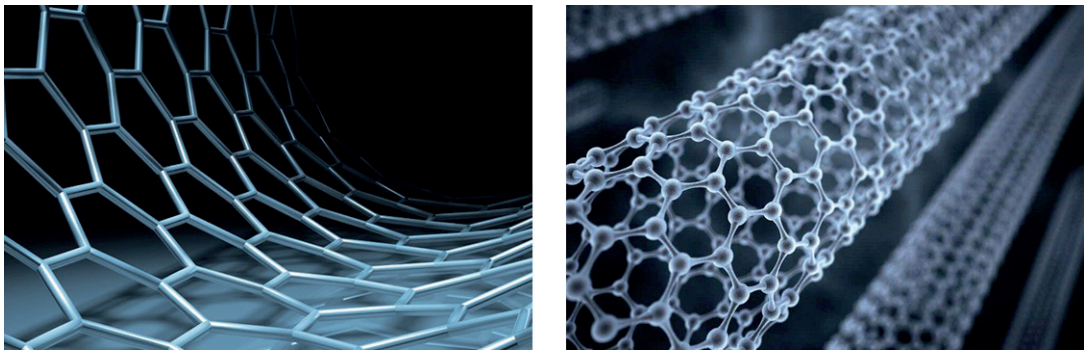


Рис. 1. **Графен, углеродная нанотрубка**

На сегодняшний день существуют следующие методы получения углеродных нанотрубок: дуговой заряд, абляция и газофазное осаждение.

Электрический дуговой разряд. Получение (углеродные нанотрубки описаны в этой статье) электрического заряда в плазме, которая горит с использованием гелия. Этот процесс может быть осуществлен с помощью специального технического оборудования для производства фуллеренов. Однако этот метод использует другие режимы горения дуги.

Горенье. Например, уменьшается плотность тока, а также используются катоды огромной толщины. Чтобы создать атмосферу гелия, необходимо увеличить давление этого химического элемента. Углеродные нанотрубки получают методом распыления. Чтобы увеличить их количество, необходимо ввести катализатор в графитовый стержень. Чаще всего это смесь различных групп металлов. Далее происходит изменение давления и способа распыления. Таким образом, получается катодный осадок, в котором образуются углеродные нанотрубки. Готовые изделия растут перпендикулярно катоду и собираются в пучки. Они имеют длину 40 микрон.

Абляция. Этот метод был изобретен Ричардом Смолли. Его суть заключается в испарении различных графитовых поверхностей в реакторе, работающем при высоких температурах. Углеродные нанотрубки образуются в результате испарения графита на дне реактора. Они охлаждаются и собираются с помощью охлаждающей поверхности. Если в первом случае количество элементов было равно 60%, то при таком способе показатель увеличился на 10%. Стоимость лазерного метода отпущения грехов дороже всех остальных. Как правило, однослойные нанотрубки получаются за счет изменения температуры реакции.

Осаждение из газовой фазы. Метод осаждения паров углерода был изобретен в конце 50-х годов. Но никто даже не предполагал, что его можно использовать для производства углеродных нанотрубок. Итак, сначала нужно подготовить поверхность с катализатором. В качестве него могут служить мелкие частицы различных металлов, например, кобальта, никеля и многих других. Из слоя катализатора начинают появляться нанотрубки. Их толщина напрямую зависит от размера катализирующего металла. Поверхность нагревается до высоких температур, а затем происходит подача газа, содержащего углерод. Среди них – метан, ацетилен, этанол и др. В качестве дополнительного технического газа используется аммиак. Этот способ получения нанотрубок является наиболее распространенным. Сам процесс протекает на различных промышленных предприятиях, так что на производство большого количества труб тратится меньше финансовых ресурсов. Еще одним преимуществом этого метода является то, что вертикальные элементы могут быть получены из любых металлических частиц, которые служат катализатором. Производство (углеродные нанотрубки описаны со всех сторон) стало возможным благодаря исследованиям Суоми Иидзимы, который наблюдал их появление под микроскопом в результате синтеза углерода.

Мембраны, состоящие из прямых, открытых, вертикальных нанотрубок в плотной матрице, позволяют использовать уникальные транспортные свойства этих углеродных наноматериалов.

Как правило, нанотрубки выращивают на подложке, например, методом химического осаждения из паровой фазы (CVD), затем зазоры между ними заполняют так, чтобы поток воды проходил только по каналам нанотрубок. Иногда УНТ синтезируются в макропорах подложки (например, из оксида алюминия). Используются также подходы к самосборке. По оценкам авторов [20], мембраны с 0,03% нанотрубками в плотной матрице могут быть более эффективными, чем все существующие системы обратного осмоса для опреснения морской воды. Сольватированные ионы, которые больше внутреннего диаметра нанотрубки, останутся в морской воде. Прохождение более мелких ионов может быть предотвращено функционализацией УНТ. Напри-

мер, мембраны из нанотрубок диаметром около 2 нм в нитриде кремния, синтезированные авторами [21], из-за функционализации УНТ при фильтрации раствора не пропускали 91% ионов размером 0,95 нм. Расчеты молекулярной динамики подтверждают эффективность использования УНТ для опреснения морской воды [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перспективным углеродным наноматериалом для создания мембран для очистки/обеззараживания/опреснения воды является графен и углеродные нанотрубки. Эти элементы являются абсолютно новым представителем класса наноматериалов. Они имеют каркасную структуру, которая отличается по своим свойствам от графита или алмаза. Именно поэтому они используются гораздо чаще, чем другие материалы.

В течение многих лет в научных исследованиях используются углеродные нанотрубки, применение которых не ограничивается одной конкретной отраслью. Этот материал имеет слабые позиции на рынке, так как есть проблемы с крупносерийным производством. Еще одним важным моментом является высокая стоимость углеродных нанотрубок, которая составляет около 120 долларов за грамм такого вещества.

Графеновые наномембраны и фильтры можно использовать для очистки воды на всех уровнях – от места получения воды из природных источников до места потребления. Это новое поколение мембран для фильтрации, дезинфекции, опреснения. Чрезвычайно низкое сопротивление при прохождении воды через нанотрубки и капилляроподобные эффекты в графене позволяют ожидать снижения ресурсо- и энергопотребления. Мембраны устойчивы к биообрастанию, обладают антимикробными свойствами, которые могут быть дополнительно усилены функционализацией наночастицами Ag или TiO_2 или антибиотиками. С помощью функционализации УНТ можно создавать аналоги «водных каналов» аквапоринов. Благодаря высокой скорости пропускания воды в сочетании с исключительной селективностью графеновые наномембраны могут эффективно извлекать пресную воду из моря.

Лишь небольшая часть графеновых мембран и фильтров в настоящее время находится на стадии пилотных испытаний. Информации о коммерческом использовании практически нет. Одним из немногих исключений являются фильтры Seldon Nanomesh TM. По словам производителей, фильтрующий материал включает в себя углеродные нанотрубки, активированный уголь и волокна. Фильтры удаляют 99,999% бактерий, 99,99% вирусов, красители, свинец и кадмий, пестициды и гербициды, Ce137 и т. д. Они используются для очистки воды в жилых районах и в портативных устройствах для армии или гуманитарной помощи.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, в 2004 году будущие Нобелевские лауреаты А. Гейм и К. Новоселов получили инновационный материал, отделив слои от обычного графита лентой. Премия «за передовые эксперименты с двумерным материалом – графеном» была присуждена им в 2010 году. К этому времени многие лаборатории по всему миру получили результаты, свидетельствующие об уникальных электронных, оптических, механических, тепловых и других свойствах графена. В последнее время на основе графена были получены уникальные мембраны.

Авторы работы [23] создали поры диаметром 0,4 нм (плотность пор 1012/см^2) в графене методом ионной бомбардировки и последующего травления и впервые продемонстрировали селективный быстрый перенос ионов в мембране одноатомной толщины. Проницаемость в 50 раз больше, чем у обычных мембран, используемых для опреснения воды. Авторы считают, что их мембраны особенно перспективны для биомедицины, поскольку большие мембраны необходимы для процессов нанофильтрации или опреснения. Проблема масштабирования может быть решена путем использования так называемого оксида графена вместо графена, который легко получается путем расслоения предварительно окисленного графита на отдельные листы.

Авторы [24] создали мембрану толщиной в микрон, состоящую из слоев оксида графена, соединенных друг с другом наподобие многослойной структуры из перламутра. Такая мембрана непроницаема для всех газов, паров и жидкостей, но вода проходит через нее беспрепятственно. Исследователи связывают это с образованием сетки графеновых нанокапилляров внутри слоев оксида графена. Диффузия других молекул блокируется сужением капилляров при низкой влажности и / или заполнением их водой. В новой работе [25] показано, что такая мембрана характеризуется не только высокой скоростью пропускания воды, но и исключительной селективностью. Гидратированные ионы с радиусом более 0,45 нм не могут проникнуть через него, а более мелкие ионы поглощаются в капилляры с очень высокой эффективностью (по данным авторов [26–28], явления соответствуют давлению на ионы > 50 атм). Дальнейшая задача исследователей-уменьшить размер капилляров, чтобы такие мембраны можно было использовать для опреснения морской воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Углеродные нанотрубки играют важную роль в инновационных технологиях. Многие эксперты прогнозируют рост этой отрасли в ближайшие годы. Произойдет значительное увеличение производственных мощностей, что приведет к снижению себестоимости продукции. С удешевлением нанотрубки будут пользоваться большим спросом и станут незаменимым материалом для многих приборов и оборудования.

К сожалению, приходится признать, что в России, несмотря на замечательные научные достижения, производство графена, УНТ и новых материалов на их основе весьма ограничено, и говорить о внедрении мембран нового поколения пока рано.

Причина - как технические трудности, так и высокая стоимость. Но это временные препятствия – достаточно вспомнить историю развития полимерных мембран, первые лабораторные образцы которых появились в нашей стране около 50 лет назад. В течение нескольких лет ассортимент мембран и мембранных элементов расширился, и благодаря целенаправленным и скоординированным действиям ученых, технологов и государственных структур началось бурное развитие мембранных технологий. Хочется верить, что это произойдет и с мембранными нанотехнологиями. В то же время нельзя забывать и о важных вопросах, связанных с безопасностью использования наноматериалов. Конечно, вероятность того, что углеродные нанотрубки или графеновые нанопластинки попадут в окружающую среду при использовании мембран, крайне мала, но это может произойти при производстве, переработке, транспортировке и утилизации. Необходимо использовать уникальные свойства синтезированных наноматериалов, чтобы избежать возможных токсических эффектов.

Разработка новых экологических ресурсосберегающих технологий приведет к улучшению научно-технических, производственных и коммерческих мероприятий, которые посредством практического использования идей и изобретений приводят к созданию и внедрению лучших продуктов, технологий и любых технических организационных решений. Одним из наиболее перспективных направлений развития нанотехнологий в области водоочистки и водоподготовки является мембранная технология с использованием инновационных наноматериалов. Увеличение использования нанотехнологий в этой области неизбежно приведет к увеличению содержания наноматериалов в природной водной среде. В связи с этим разработка аналитических методов определения наночастиц становится самостоятельной проблемой. Предлагаемые в настоящее время методы обычно сложны, очень дорогостоящи и подвержены ряду ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова О. Классификации сточных вод по разным критериям и методы их очистки // Водоочистка. – 2019. – № 3. – С. 57–61.
2. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Технология сточных вод. Контроль качества окружающей среды // Учебное пособие по дисциплине «Инженерная защита окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления». – специальность «Инженерная защита окружающей среды»: электронное издание. – Москва, 2013. – № 0321401109.
3. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Технологии сточных вод (инженерная защита гидросферы) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2010. – № 6. – С. 2–128.
4. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Повышение экоэффективности технологии очистки сточных вод // Водоочистка. – 2016. – № 11. – С. 26–32.
5. Доронкина И.Г., Борисова О.Н. Эколого-экономическая эффективность технологических процессов очистки сточных вод // Сервис в России и за рубежом. – 2015. – Т. 9, № 4 (60). – С. 112–121.
6. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Повышение экоэффективности технологии очистки сточных вод // Сервис в России и за рубежом. – 2014. – № 1 (48). – С. 153–162.
7. Доронкина И.Г., Борисова О.Н. Очистка сточных вод современного города / Славянский форум. – 2020. – № 2 (28). – С. 146–158.
8. Шайтура С.В. Гибридные системы // Интеллектуальные системы и технологии Шайтура С.В. – Бургас: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий. – 2016. – С. 63–82.
9. Шайтура С.В. Миссия выполнима // Славянский форум. – 2012. – № 1 (1). – С. 47–52.
10. Шайтура С.В. Нейронные сети / Интеллектуальные системы и технологии Шайтура С.В. – Бургас: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий. – С. 47–62.
11. Шайтура С.В. Природоохранные технологии – основа седьмого технологического уклада // Конструкторское бюро. – 2017. – № 3 (128). – С. 12–14
12. Kremena Stereva, Shaytura S.V. Using The Terrestrial Laser Scanning Technology For Detection Of Cracks In Rock Massifs. *Slavic Forum*. 2021;1(31):241-247.

13. Stereva Kremena, Postolovski A., Shaytura S.V. Using Mobile Laser Scanning In Road Safety Repair And Audit. *Slavic Forum*. 2021;1(31):248-257.

14. Bokareva E.V., Silaeva A.A., Borisova O.N., Doronkina I.G., Sokolova A.P. Analysis of the world and russian e-commerce market: development trends and challenges. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. 2018;7(4.38):387-392.

15. Borisova O.N., Silayeva A.A., Saburova L.N., Belokhvostova N.V., Sokolova A.P. Talent management as an essential element in a corporate personnel development strategy. *Academy of Strategic Management Journal*. 2017;16(S1):31-46.

16. Доронкина И.Г., Борисова О.Н. Ионообменные технологии очистки сточных вод с использованием ионитов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология–2020): материалы XVI Международной научно-технической конференции. – Уфа. – 2020. – С. 291–296.

17. Иванов Л.А., Борисова О.Н., Муминова С.Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 91–101. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-91-101.

18. Иванов Л.А., Капустин И.А., Борисова О.Н., Писаренко Ж.В. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 71–76. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76.

19. Baumgartner H. Nanopores for clean drinking water. *Environment. Nanotechnology.* 2010;3:18–20.

20. Каграманов Г., Свитцов А., Каширина О. Нереализованный потенциал. Мембранная технология в мире и в России // Вода Magazine, 2013, № 11.

21. De Volder M. F. L., Tawfick S. H., Baughman R. H., Hart A. J. Carbon nanotubes: present and future commercial applications. *Science*. 2013;339:535–539.

22. Вигдорович В.И., Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Наноструктурированные материалы и технологии. Современное состояние, проблемы и перспективы // Вестник ТГТУ. – 2007. – Т. 13, № 4, Препринт № 22, Рубрика 02. – С. 1–40.

24. Fornasiero F., Park H. G., Holt J. K., Stadermann M., Grigoropoulos C. P., Noy A. and Bakajin O. Ion exclusion by sub-2-nm carbon nanotube pores. *P. Natl. Acad. Sci. USA*. 2008;105:17250–17255.

25. Corry B. Water and ion transport through functionalised carbon nanotubes: applications for desalination technology. *Energy Environ. Sci*. 2011;4:751–759.

26. O'Hern S.C., Boutilier M.S., Idrobo J.-C., Song Y., Kong J., Laoui T., Atieh M., Karnik R. Selective ionic transport through tunable subnanometer pores in singllayer graphene membranes. *Nano Lett*. 2014;14:1234–1241.

27. Nair R.R., Wu H.A., Jayaram P.N., Grigorieva I.V., Geim A.K. Unimpeded permeation of water through helium-leak-tight graphene-based membranes. *Science*. 2012;335:442–444.

28. Joshi R.K., Carbone P., Wang F.C., Kravets V.G., Su Y., Grigorieva I.V., Wu H.A., Geim A.K., Nair R.R. Membranes precise and ultrafast molecular sieving through graphene oxide. *Science*. 2014;343:752–754.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борисова Оксана Николаевна, доцент, к.т.н., доцент Высшей школы сервиса Российского государственного университета туризма и сервиса, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7391-6170, e-mail: borisova-on@bk.ru

Доронкина Ирина Геннадиевна, к.т.н., доцент, директор департамента спорта Российского государственного университета туризма и сервиса, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7354-4293, e-mail: dora1096@yandex.ru

Феоктистова Валентина Михайловна, доцент, к.т.н., доцент Высшей школы сервиса Российского государственного университета туризма и сервиса, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8880-8941, e-mail: vfeoktistova@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 04.03.2021.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 29.03.2021.
Статья принята к публикации: 02.04.2021.

PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

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

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

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

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

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

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

1. The reviewer evaluates his or her own availability before the examination of the manuscript and accepts materials for review only if the reviewer is able to allow for sufficient time as to ensure the quality his or her work.

2. The reviewer must use the form created by the editors and delivered with paper. The reviewer may give extended review.

3. The reviewer notifies the editorial staff of any conflict of interest (if one exists) before the start of the review of the paper.

In the case of the absence of any competing interests the reviewer should claim that by writing «The reviewer declares the absence of any competing interests» in the review.

4. The reviewer does not send information about the article and or any of the data contained within the article to any third party.

5. The reviewer does not use the information obtained from the article for any personal and or commercial purposes.

6. The reviewer does not make conclusions about the quality of the article on the basis of subjective data, e.g. the personal relationship to the author, gender, age, religion, etc.

7. The reviewer uses only proper and appropriate language and explanations in respect to the articles, avoiding any personal remarks.

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

1. The publisher not only supports scientific communication and invests in the process, but is also responsible for complying with all current guidelines and standards for publishing scientific work.

2. The publisher does not affect the editorial policy of the journal.

3. The publisher provides legal support to the journal if necessary.

4. The publisher provides for the timely release of futures issues of the journal.

5. The publisher publishes changes, explanations, and recalls articles that have been identified to contain scientific misconduct and or critical errors.

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

1. The editor-in-chief is responsible for making a decision which of submitted papers are to be published in the journal. This decision always must be based on the examination of paper reliability and its importance for scientists and readers. The editor-in-chief may be guided by methodical recommendation elaborated by the editorial board of the journal. He also may take into account legal requirements, such as exclusion of libel, infringement of copyright and plagiarism. When making decision on the publication, the editor-in-chief may consult with the members of editorial board, reviewers.

2. The editor-in-chief evaluates submitted papers by the intellectual content, regardless of the race, sex, sexual preference, religion, ethnic origins, citizenship and political views of the author.

3. The editor-in-chief, editorial staff, members of the editorial board must not disclose information on the submitted manuscript to the third person except for the author, reviewers, potential reviewers, and the publisher.

4. The information contained in the submitted paper cannot be used in the paper of the editor-in-chief, members of the editorial board without author's written permission. Confidential information or ideas obtained during review must be kept in secret and must not be used for self-profit.

5. The editor-in-chief should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, cooperation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.

6. The editor-in-chief should ask all authors to present information on the certain competitive interests and publish corrections if the conflict of the interests has been revealed after the publication. If necessary another appropriate action such as publication of disproof or expression of a concern can be performed.

7. The editor-in-chief should take reasoned and prompt measures if he gets complaints of ethnic character in respect to the submitted manuscript or issued paper, contacting with the editors and publisher.

Complaints and appeals handling

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

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

Policy of disclosure and conflicts of interest /competing interests

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

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

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

The politics of the journal concerning data exchange and reproductibility

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

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

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

Ethical oversight of the published materials

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

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

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

Derivation and plagiarism

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

Intellectual property

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

The editors aside from using plagiarism detecting tools can also:

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

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

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

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

Preprint and postprint policy

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

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

On the procedure in case of abusive practice (infringement)

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

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

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

ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ ПРАКТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

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

Ответственность авторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность редакторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность рецензентов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственность издателя журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

2. Издатель не влияет на редакционную политику журнала.

3. Издатель оказывает юридическую поддержку редакции журнала при необходимости.

4. Издатель обеспечивает своевременность выхода очередных выпусков журнала.

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

Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

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

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

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

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

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

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

Обработка жалоб и апелляций

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

Политика раскрытия и конфликты интересов/конкурирующих интересов

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

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

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

Политики журнала в отношении обмена данными и воспроизводимости

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

Политика журнала в отношении обмена данными и воспроизводимости в конечном итоге способствует более «открытой» науке, а открытость научной информации есть гарант исследований и инноваций высокого качества.

Этический надзор за опубликованными материалами

Издатель и главный редактор должны работать над защитой репутации опубликованных материалов путем изучения и оценки заявленных или предполагаемых нарушений (исследований, публикаций, рецензий и редакторской деятельности) совместно с научным сообществом.

Это включает в себя взаимодействие с автором рукописи или тщательное рассмотрение соответствующей жалобы или высказанных претензий. Для выявления таких нарушений, как плагиат, редактор должен пользоваться соответствующими лицензионными системами.

Главный редактор, получивший убедительное свидетельство нарушения, должен сообщить об этом издателю, членам редколлегии, организуя немедленное уведомление автора о необходимости внесения поправок или отзыва публикации, в зависимости от ситуации.

Заимствования и плагиат

Редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы Антиплагиат. В случае обнаружения многочисленных заимствований редакция действует в соответствии с правилами COPE.

Интеллектуальная собственность

Редакторы должны внимательно относиться к вопросам, касающимся интеллектуальной собственности, и взаимодействовать с издателем при урегулировании случаев возможных нарушений законов и соглашений об охране интеллектуальной собственности.

Редакторы, кроме применения инструментов обнаружения плагаиата, могут также:

– поддерживать авторов, чье авторское право было нарушено, или тех, кто стал жертвой плагиата;
– быть готовыми к совместной работе с издателем по защите авторских прав и к преследованию нарушителей (например, путём подачи запросов для отзыва статей или удаления материалов с веб-сайтов).

Обсуждение работ, опубликованных в журнале. Исправления плосле публикаций

Редакторы должны быть открытыми для исследований, которые оспаривают предыдущие работы, опубликованные в журнале; поощрять и с готовностью рассматривать обоснованную критику работ, публикуемых в их журнале.

Авторы критикуемых материалов должны иметь возможность ответить на критику. Работы, сообщающие только об отрицательных результатах, также могут публиковаться.

Политика размещения препринтов и постпринтов

В процессе подачи статьи автору необходимо подтвердить, что статья не была опубликована или не была принята к публикации в другом научном журнале. При ссылке на опубликованную в журнале «Нанотехнологии в строительстве» статью издательство просит размещать ссылку (полный URL материала) на официальный сайт журнала.

К рассмотрению допускаются статьи, размещенные ранее авторами на личных или публичных сайтах, не относящихся к другим издательствам.

О процедурах в случае злоупотреблений (нарушений)

Издатель, главный редактор, каждый сотрудник редакции, член редакционной коллегии, автор, рецензент и читатель обязаны соблюдать этику научных публикаций в журнале действующих законов, правил или положений и обязуются сообщать о любых известных у случаях уже совершенного или потенциального злоупотребления (нарушения).

Редакцией журнала незамедлительно проводится расследование по всем сообщениям о злоупотреблениях (нарушениях) и, если информация подтверждается, принимаются меры по устранению злоупотреблений (нарушений). Если это требуется в соответствии с законодательством, материалы передаются в соответствующие государственные органы.

На все претензии авторов редакция предоставляет развернутые и обоснованные ответы, прилагая все усилия для разрешения конфликтных ситуаций.

AUTHOR GUIDELINES

Admission of articles

The authors submit to the editors:

- electronic manuscript by e-mail: info@nanobuild.ru;
- accompanying letter (the editors send the sample of the letter to the authors on demand).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution»; agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here http://creativecommons.ru/.

When submitting articles to the journal, it is presumed that:

- the work has not been previously published in any other journal;
- the article is not under consideration in any other journal;
- all co-authors consent to the publication of the article;
- there is implicit or explicit consent of the organization in which the study was conducted.

Information about the conflict of interest

The article should include any actual or potential conflict of interest. If there is no conflict of interest, you should write that «the author declares no conflict of interest.»

When submitting a manuscript to the journal, authors should ensure that the content of the paper corresponds the topic of the journal; the structure and the format of the paper meet the editorial requirements; all citations are properly formatted and the source of tables and figures are shown (unless otherwise indicated, it is assumed that the tables and figures created by the author).

Basic the sections of the journal:

- construction material science;
- the study of the properties of nanomaterials;
- the results of the specialists' and scientists' researches;
- manufacturing technology for building materials and products;
- international scientific and technical cooperation;
- overview of inventions in the field of nanotechnology;
- development of new materials;
- rational use of natural sources;
- efficient use of recycled resources;
- the application of nanotechnology and nanomaterials;
- system solutions for technological problems;
- in related sectors;
- forums, exhibitions, conferences and events in the area of construction and nanoindustry.

These are the topics of the papers published in the journal: creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; cement and other binders with mineral and organic additives; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; modification of building materials with nanofibers; disperse composite materials with nanocoating; formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering; technologies aimed at studying nanomaterial properties; the systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

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

The structure of the paper

Article type (In English)
Title (In English)
Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In English) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)
***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows
Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In English)
KEYWORDS: (In English)
ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In English)
FOR CITATION: (In English)

Text of the paper: (In English, number of words 3000–6000)
- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In English)
INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In English)
Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail
All authors declare the absence of any competing interests.

Article type (In Russian)
Title (In Russian)
Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In Russian) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)
***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In Russian)
KEYWORDS: (In Russian)
ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In Russian)
FOR CITATION: (In Russian)

Text of the paper: (In Russian, number of words 3000–6000)
- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In Russian)
INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In Russian)
Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail
All authors declare the absence of any competing interests.

Manuscript text

File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in .rtf format.

Text layout

- Use the font Times New Roman, font size – 14 pt., and 1.5 line spacing;
- Do not use an underscore in the text (for subtitles – use bold, to highlight text – use italics);
- Non-Russian languages titles (journals, organizations, etc.) should be left in the original, enclosed in quotes.

Abbreviations

All abbreviations should be defined when first used. If the article contains a large number of abbreviations, a list deciphering each of them can be included before the text of the article

Tables and Figures

All tables and figures must be numbered and identified, they should be a reference in the text. The tables should not contain empty columns. Figures should be of good quality, suitable for printing. Figures should be submitted together with the article, with each figure submitted as an individual file.

One way to check the quality of the image, is to increase its size using any image manipulation software. A high quality image is not burred or distorted when enlarged.

Footnotes

If necessary, use footnotes with continuous numbering (Arabic numerals) throughout the document. Footnotes can be quotes from the works mentioned in the text, for more information.

Citations and bibliography

The journal requires the use of the Vancouver citation style (a reference in the text in square brackets, full bibliographic description of the source in the bibliography in the order mentioned in the text of the article).

References

The list of references includes sources used in the text.

References accepted for publication but not yet published articles must be labeled with the words "in press"; authors should obtain written permission to refer to these documents and evidence that they are accepted for publication. Information from unpublished sources must be marked with the words "unpublished data / documents," the authors must also receive written confirmation of the use of such materials.

References to non-Russian language articles:

Surname Intials, Surname Intials Article title. Name of journal. Year, Volume (Number): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Example: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020: 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

References to non-Russian language monographs:

With 1–3 authors:

Surname initials, Surname initials. Book title. Number of reprinting. City: Publisher; The year of publishing.

Indication to the editor or compiler:

Surname initials. Surname initials. Surname initials, editors. Title. Number of reprinting. City: Publisher; Year of publishing.

Example: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composits. England: Woodheard Publish Lmt.; 2003.

Journal title and the title of monographs and collections are written in italics. After the initials a period (.) is used. Between the author's name and initials no comma is used.

Reference to Russian language sources:

Example: Lindorf L.S., Mamikoniants L.G. Operation of turbine-generator with direct cooling. Moscow: Energia; 1972. (In Russ.)

References to internet sources:

The name of the material on the site [site]. Name of the site; year [updated: date of update; date of citation]. Available: link to the site.

Note: preferably indicate a link to the material from the site, which is mentioned in the article. A link to your homepage is not informative and does not allow for verification of the information.

Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

1. Authors retain copyright of the work and provide the journal right of first publication of the work.
2. The authors retain the right to enter into certain contractual agreements relating to the non-exclusive distribution in the published version of the work here form (eg, post it to an institutional repository, the publication of the book), with reference to its original publication in this journal.
3. The authors have the right to post their work on the Internet (eg in the institute store or personal website) prior to and during the review process of its data log, as this may lead to a productive discussion and a large number of references to this work.

Privacy Statement

Specified when registering the names and addresses will be used solely for technical purposes of a contact with the Author or reviewers (editors) when preparing the article for publication. Private data will not be shared with other individuals and organizations.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Прием статей

Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде по e-mail: info@nanobuild.ru;
- сопроводительное письмо (редакция высылает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь http://creativecommons.ru/.

Представление статьи в журнал подразумевает, что:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие – неявное или явное – организации, в которой исследование было проведено.

Информация о конфликте интересов

В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что содержание статьи соответствует тематике журнала; структура статьи и оформление соответствуют требованиям редакции; все цитирования оформлены корректно, указаны источники для таблиц и рисунков (если не указано иное, предполагается, что таблицы и рисунки созданы автором).

Основные разделы журнала:

- строительное материаловедение;
- исследование свойств наноматериалов;
- результаты исследований ученых и специалистов;
- технологии производства строительных материалов и изделий;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- обзор изобретений в области наноиндустрии
- разработка новых материалов;
- рациональное использование природных ресурсов;
- эффективное использование вторичного сырья;
- применение нанотехнологий и наноматериалов;
- системные решения технологических проблем;
- в смежных отраслях;
- форумы, выставки, конференции, мероприятия строительной отрасли и наноиндустрии.

В журнале публикуются работы по следующим темам: создание новых функциональных материалов; разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем; проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах; цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками; диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем; технологии исследования свойств наноматериалов; модифицирование строительных материалов нановолокнами; дисперсные композиционные материалы с нанопокрытием; формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением; системы преподавания основ нанотехнологий; технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.). Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

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

Структура статьи

Тип статьи (на английском языке)
Заглавие (на английском языке)
Автор(ы) (на английском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)
***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке)
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на английском языке)
БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на английском языке)
ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на английском языке)

Статья (на английском языке, объем – 3–6 тыс. слов):
- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**
- **РЕЗУЛЬТАТЫ**
- **ОБСУЖДЕНИЕ**
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на английском языке)
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на английском языке)
Имя, отчество (при наличии), фамилия, ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УДК
Тип статьи (на русском языке)
Заглавие (на русском языке)
Автор(ы) (на русском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке) (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)
***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (введение, методы и материалы, результаты, обсуждение, заключение (выводы)), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке)
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на русском языке)
БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на русском языке)
ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на русском языке)

Статья (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов)
- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

- **РЕЗУЛЬТАТЫ**
- **ОБСУЖДЕНИЕ**
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на русском языке)
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на русском языке)
Фамилия, имя, отчество (при наличии), ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Оформление текста рукописи

Формат
Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .rtf.

Оформление
- используйте шрифт 14 Times New Roman и интервал 1,5 строки;
- не используйте подчеркивание внутри текста (для подзаголовков используйте полужирное начертание, для выделения в тексте – курсив);
- иностранные названия (журналов, организаций и т.д.) следует оставлять в оригинале, заключать в кавычки.

Аббревиатуры
Все аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если аббревиатур много, можно сделать список с расшифровкой каждой из них перед текстом статьи.

Таблицы и рисунки
Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и названы, на них должна быть отсылка в тексте статьи. В таблицах не должно быть пустых граф. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Прикладываются к статье отдельными файлами.
Чтобы проверить качество изображения, можно увеличить его. Хорошее изображение не размывается при увеличении.

Сноски
При необходимости используются сноски со сквозной нумерацией (арабские цифры) по всему документу. В сносках могут быть цитаты из работ, которые упоминаются в тексте, дополнительная информация.

Оформление цитат и списка литературы
В журнале принят Ванкуверский стиль цитирования (отсылка в тексте в квадратных скобках, полное библиографическое описание источника в списке литературы в порядке упоминания в тексте статьи).

Список литературы
В список литературы включаются источники, используемые в тексте статьи. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

Ссылки на статьи из иностранных источников:
[1]Фамилия И.О., [2]Фамилия И.О. Название статьи. Название журнала. Год; Том (Номер): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.
Пример: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020: 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

Ссылки на монографии на иностранном языке:

С 1–3 авторами:

[1]Фамилия И.О., [2]Фамилия И.О. Название книги. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Указание на редактора или составителя:

[1]Фамилия И.О., [2]Фамилия И.О., [3]Фамилия И.О., редакторы. Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Пример: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composits. England: Woodheard Publish Lmt.; 2003.

Глава из монографии или сборника:

[1]Фамилия И.О. [1]Название. В: [2]Фамилия И.О., редактор. [2]Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Название журнала и название монографий и сборников выделяется курсивом, после инициалов ставятся точки. Между фамилией автора и инициалами запятая не ставится.

Ссылки на статьи на русском языке

[1]Фамилия И.О., [2]Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. – Год. – Том (Номер):00-00. [[1]Familia I.O., [2]Familia I.O. Перевод названия статьи. Транслит названия журнала/Официальное название на английском языке. Год; Том (Номер):00-00. (In Russ.)]]

Пример: Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – 9 (1): 88–106. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.

[Ivanov L.A., Muminova S.R. Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1. Nanotechnologies in Construction. 2017; 9 (1): 88–106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106. (In Russian)]

Ссылки на монографии на русском языке:

[1]Фамилия И.О. Название монографии. – Город: Издательство, год. – 000 с. [[1]Familia I.O. Перевод названия моноографии. Gorod: Izdatelstvo; god. (In Russ.)]

Пример: Линдорф Л.С., Мамикониантс Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – М.: Энергия, 1972. – 352с.

Ссылки на интернет-ресурсы:

Название сайта [Электронный ресурс] – URL. – (дата обращения).

Примечание: предпочтительно указывать ссылку на материал с сайта, который упоминается в статье. Ссылка на главную страницу не информативна и не дает возможность проверить информацию.

Авторские права

Авторы, публикующие в журнале, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.

2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договорённости, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.

3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и большему количеству ссылок на данную работу.

Приватность

Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных этим журналом, и не будут использованы для каких-либо других целей или предоставлены другим лицам и организациям.