

IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- Investigation of the process of moisture crystallization in bricks
- Application of statistical methods for solving problems of construction materials science
- Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art
- Energy resource efficient designs of small-sized water circulating cooling devices

Happy New Year 2021!

- Исследование процесса кристаллизации влаги в кирпиче
- Применение статистических методов для решения задач строительного материаловедения
- Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние
- Энергоресурсоэффективные конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды

С Новым, 2021 годом!

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)

*Happiness, Joy
and Realization of Your Wishes
In New Year!*



2021

The Editors, Editorial Council and Editorial Board of the Electronic Edition
«Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»

e-mail: info@nanobuild.ru

*Счастья, радости
и исполнения желаний
в Новом году!*



2021

Редакция, редакционный совет и редакционная коллегия электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал»

e-mail: info@nanobuild.ru

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

ISSN 2075-8545 (online)

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

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

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

The main tasks:

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

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

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

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

The language of publication: English; Russian.

The edition's readers and authors are:

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

EDITORS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Pawel SIKORA, Ph.D., 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 № 6 (Vol. 12) is 18.12.2020

ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



**INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING**



**WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)**

CONTENTS

HAPPY NEW YEAR 2021!	301
PUBLISHER INFORMATION	302
CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE	
<i>Zheldakov D.Yu., Kozlov V.V., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A.</i> Moisture crystallization in bricks	305
RESEARCH RESULTS OF RESEARCHERS	
<i>Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A.</i> Application of Statistical Methods For Solving Problems of Construction Materials Science.....	313
DEVELOPMENT OF NEW POLYMER MATERIALS	
<i>Vikhareva I.N., Zaripov I.I., Kinzyabulatova D.F., Minigazimov N.S., Aminova G.K.</i> Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part I.....	320
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities.....	326
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
<i>Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R.</i> Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part V.....	331
RATIONAL USE OF NATURAL SOURCES	
<i>Bondar K.E., Shulaev N.S., Ivanov S.P., Laponov S.V.</i> Energy resource efficient designs of small-sized devices for recycled water cooling	339
CONTENT OF THE ISSUES PUBLISHED IN 2020	349
PUBLISHING ETHICS	355
AUTHOR GUIDELINES	359
CALENDAR FOR 2020	363

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 наукоёмких технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

Основные задачи:

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

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

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

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

Язык издания: русский; английский.

Авторами и читателями издания являются:

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

РЕДАКЦИЯ

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

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

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

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

ШЕФ-РЕДАКТОР – ЕВСТИГНЕЕВА Юлия Анатольевна, член Союза журналистов России, г. Москва, Российская Федерация

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

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА ДИЗАЙНА И ВЕРСТКИ – РЕЗНИЧЕНКО Андрей Сергеевич, индивидуальный предприниматель, г. Москва, Российская Федерация

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

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ПО ВНЕШНИМ СВЯЗЯМ – МУМИНОВА Светлана Рашидовна, канд. техн. наук, доцент, Российский государственный университет туризма и сервиса, пос. Черкизово, Московская область, Российская Федерация

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СИКОРА Павел, 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 № 6, Том 12, 2020: 18.12.2020 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

СОДЕРЖАНИЕ

С НОВЫМ, 2021 ГОДОМ!	301
ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	302
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
<i>Желдаков Д.Ю., Козлов В.В., Кузнецов Д.В., Сеницин Д.А.</i>	
Исследование процесса кристаллизации влаги в кирпиче	305
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
<i>Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В., Медведев А.А., Демисси Б.А.</i>	
Применение статистических методов для решения задач строительного материаловедения.....	313
РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Вихарева И.Н., Зарипов И.И., Кинзябулатова Д.Ф., Минигазимов Н.С., Аминова Г.К.</i>	
Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть I.....	320
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	326
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р.</i>	
Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть V	331
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	
<i>Бондарь К.Е., Шулаев Н.С., Иванов С.П., Лапонов С.В.</i>	
Энергоресурсоэффективные конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды	339
СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА, ВЫШЕДШИХ В 2020 ГОДУ	349
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	355
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	359
КАЛЕНДАРЬ 2021	363



Investigation of the process of moisture crystallization in bricks

D.Yu. Zheldakov^{1*} , V.V. Kozlov¹ , D.V. Kuznetsov² , D.A. Sinitsin²

¹ Research Institute of Building Physics, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

² Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Russia

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

ABSTRACT: To solve the problems concerning moisture behaviour in the material of construction's enclosure, especially at alternating temperatures, is very important for the correct calculations of resistance to heat conduction of construction's enclosure and, ultimately, for comfortable living conditions. However, there are still no methods for building enclosure's materials that could determine the temperature of moisture crystallization in the material in solid phase. The premise of the research is that water incoming to the material of construction's enclosure, presenting in the construction's material in the form of oxides and salts, as a result of hydrolysis process of some elements, is an eutectic solution with unstable composition and concentration. Thus, the research of moisture crystallization process transfers from micro- area (when determining the temperature of crystallization by the size of material's pores) to the nano- area when researching the eutectic solution at the possible condition of hydrates formation.

The experimental technique was developed to perform laboratory research of the process of moisture freezing. The technique takes into account that freeze-thaw process of moisture in solid body is studied at significant difference between mass of liquid phase and mass of solid phase. The method was simplified for the broad use at working conditions.

The simplicity of the method aimed at obtaining experimental results is compensated by the developed mathematical method of processing the results of the research. Mathematical solution of the problem based on the comparison of freezing curves behaviour of the samples in dry and humidified samples.

Apart from the temperature of moisture freezing, the developed method allowed obtaining additional characteristics of moisture states, such as amount of unfrozen moisture in construction's material, supercooling temperature, heat capacity of moisture in liquid and solid states, concentration of dissolved agents. Knowing the concentration of dissolved agents in the material, even without knowing the exact composition of these agents, allows manipulating the temperature of moisture freezing at the nanotechnology level.

KEYWORDS: pore structure of the material, moisture crystallization, supercooling temperature, mathematical modeling of the heat exchange process.

FOR CITATION: Zheldakov D.Yu., Kozlov V.V., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A. Moisture crystallization in bricks. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(6): 305–312. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-305-312.

INTRODUCTION

The subject of research is the study of moisture behaviour in enclosures with alternating load. The object of research – structural ceramic material. The question of material humidification in enclosures – one of the main questions in structural physics that is being solved. Durability, hygiene and energy efficiency of enclosure based on its solution [1, 2, 3]. The presence of moisture in brickwork material changes the durability greatly [11, 12, 13]. It is necessary to know the amount of unfrozen moisture in construct

at every temperature when calculating humidity conditions of enclosure.

The task of this work is creation of mathematical treatment method for laboratory research results of moisture freezing process in brick material.

There are no methods to determine moisture crystallization temperature for enclosure materials in material research practices up until now [4, 5]. The uniqueness of this paper researches are:

- firstly, the freeze-thaw process of moisture studies in solid with a substantial difference in mass of liquid and solid phases;

- secondly, moisture considered as electrolytes solution with very low concentration [6, 7, 8];
- thirdly, constant change of dissolved elements composition in water is considered a subject to external conditions and initial elements composition of solid material [9, 10, 14, 15, 16].

When temperature of the construction's enclosure drops below zero, up until now crystallization process has been considered as a process of water freezing in material's pores. Variation of the amount of unfrozen water in material at different negative temperatures was explained as pore sizes in the material. In this work, moisture in the material is considered as eutectic solution that was obtained in hydration process of some oxides and salts from the material. This approach determines the research of the water crystallization process from the solution upon the condition of formation of nanoagents as salt hydrates. If it is possible to determine salts concentration in the solution, one can control the process of moisture freezing in construction enclosures based on nanotechnologies of changing the initial composition of the material.

The scope of this research is to design laboratory experiment and mathematical method of treatment experimental data for determination of moisture crystallization temperature, supercooling temperature, concentration of dissolved agents and moisture thermal capacity in liquid and solid states.

This paper describes the mathematical treatment method of experiment results only. Method and experiment results description as well as the results obtained by mathematical treatment method will be published later.

Mathematical formulation of the experiment

In general case, heat-conduction process in the sample represents as three-dimensional thermal conduction equation with boundary conditions of the third kind:

$$c\gamma \frac{\partial t}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_1 \frac{\partial t}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_2 \frac{\partial t}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_3 \frac{\partial t}{\partial x_3} \right), \quad (1)$$

where x_1, x_2, x_3 – coordinates, m;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – estimated thermal conductions for respective directions, W/(m · °C);

c – specific heat of material, J/(kg · °C);

γ – material density, kg/m³;

z – time, s.

Heat exchange occurs between the edges of the sample and air in freezer. It is suggested that sample has a parallelepiped form and heat exchanges evenly on every edge (there are no more detailed information about this process). Therefore, following boundary conditions used for one edge only.

If system axes positioned along sample's edges, boundary condition changes to:

$$\lambda (\partial t / \partial x) = \alpha_n (t_n - t), \quad (2)$$

where t_n – temperature in freezer, °C;

α_n – thermal conduction coefficient in freezer, W/(m · °C).

Actually, formulas (1) and (2) represents redistribution of heat in the sample due to heat conduction with surroundings. Initial conditions in the sample are set to evenly distributed temperature t_0 , measured in the experiment.

On the edges of estimated section, which contact with freezer, boundary conditions (2) would be applied. On the samples cutting edges of estimated section, due to symmetry of the task, boundary conditions of the second kind would be applied, thermal flow equals zero, i.e. temperature derivative by coordinate equals zero in tasks conditions:

$$\frac{\partial t}{\partial x_1} = 0 \Big|_{x_1=0}. \quad (3)$$

Conditions for other coordinates are made in analogue.

Due to symmetry of the system, solutions for equations and boundary conditions calculates with separation of variables. For brevity, we would skip the course of solution and write down the final formula:

$$t = t_n + B \cos(\sqrt{\eta_1} x_1) \cos(\sqrt{\eta_2} x_2) \cos(\sqrt{\eta_3} x_3) e^{-\lambda \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{c\gamma} z}, \quad (4)$$

where η_1, η_2, η_3 – coefficients are found from boundary conditions;

B – coefficient is found from initial conditions.

For practical use, first component of series is enough, i.e. formula (4), where coefficients η_1, η_2, η_3 were defined in equation (5) in the first period of tangent in positive half-plane.

$$\sqrt{\eta_1} d_1 \tan(\sqrt{\eta_1} d_1) = \frac{\alpha_n d_1}{\lambda}. \quad (5)$$

It is proved that temperature range on the sample hardly influencing studied trends outside phase transitions. The only process when temperature range has a distorting effect is phase transition. However, phase transitions mostly appear in moistened samples that has a much higher heat conduction than dry ones. Heat conduction significantly influence the temperature range on the sample by smoothening it. Briefly, we would mention that for the researched moistened sample the temperature range from warmest to coolest points equals to 14% of the overall temperature drop. Average temperature and temperature in sensor's spot has matched precisely.

Influence of the temperature range on measuring precision of phase transition requires additional research. However, obtained results can point on organizational measures to increase the measuring precision.

Using a reasonably small and with high heat conduction researching samples allows to neglect temperature deviations across sample's spots from average value.

This allows to simplify mathematical formulation of the task, reducing it to particle heat exchange with defined heat exchange and thermal capacity properties.

Mathematical model for particle heat exchange reducing to linear differential equation of the first degree:

$$cm \cdot (\partial t / \partial z) = S \alpha_n (t_n - t), \quad (6)$$

where m – sample's mass, kg;

S – the total area of sample that involved in heat exchange, m^2 .

It is important to point out that cm in (6) equation is generalized heat capacity of the sample that changes because of phase transitions in the experiment process. Analogously, $S \alpha_n$ is generalized heat exchange coefficient of the sample that can change due to specified work condition of the freezer in the experiment process.

As a matter of convenience shifted temperature would be used next:

$$\tau = t_n + t. \quad (7)$$

For the solution of equation (6) only one boundary condition is required. It is initial condition:

$$t(0) = t_0. \quad (8)$$

Overview of the solution:

$$t(z) = t_n + (t_0 - t_n) e^{-kz}, \quad (9)$$

where k is an exponential parameter that is found by formula:

$$k = S \alpha_n / cm. \quad (10)$$

Temperature-time dependence (9) must be solved by measurement of dry samples for which characteristic changes of the sample and freezer are small in the experiment period.

Statement and results of a laboratory experiment

For research, brick M100 with known elementary chemical and crystalline composition was chosen. Experiments were conducted with dry and 100% water-saturated samples in accordance to developed research program. Results of the experiment shown in Fig. 1 (for dry) and Fig. 2 (for wet).

Fig. 1 shows the distribution of temperature from the dry sample's experiment. That figure shows the charts of shifted temperature and exponential dependency approximation. It is clear that experimental points almost ideally fall on the exponent. Initial and final point are excluded because process is severely distorted at these moments. At initial point, warm sample's setting up distortion leads to significant change of temperature in the freezer. While the temperature is restoring, t_n changes fast which means that formula (9) is not the solution of equation (6) in that period. At final period, an error is growing due to two factors. First, temperature in freezer is not constant but changes periodically by $\pm 1.5^\circ\text{C}$ (on a 44-minute period). Second, rounding of an error. Sensors fixate temperature with precision of a tenth of a second degree. It does not affect overall temperature drops between sample and freezer that makes up tens of degrees, but as those temperatures converge, the rounding error becomes more and more significant that leads to errors of tens of percent on the last period.

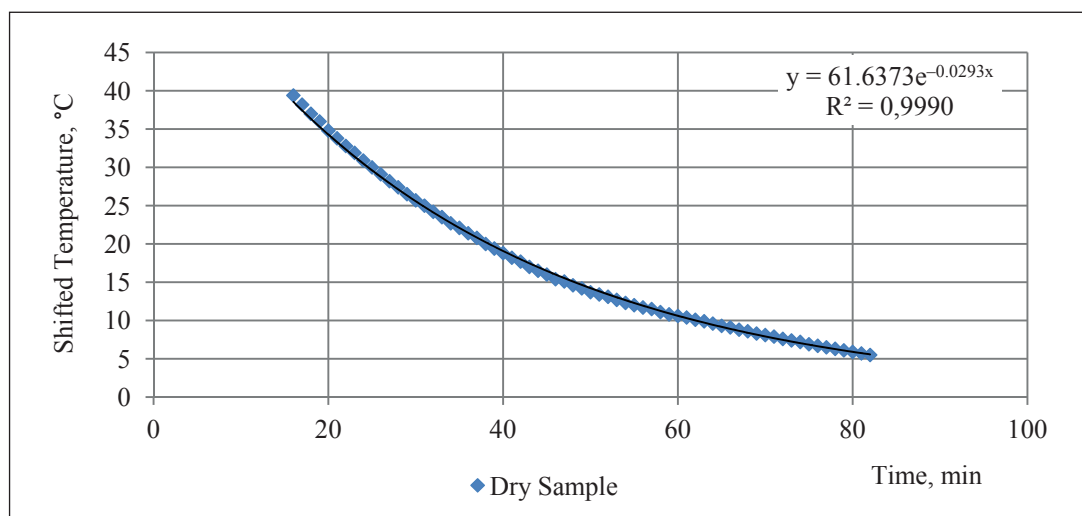


Fig. 1. Shifted temperature to time dependence for dry sample

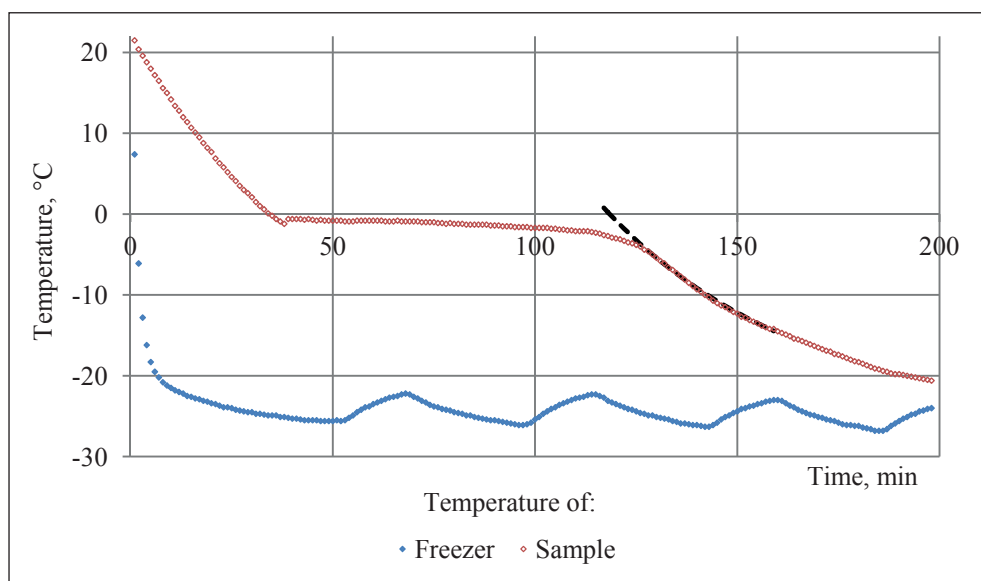


Fig. 2. Changing of temperature in freezer and temperature of water-saturated sample. Chart shows the temperature in °C and timeline in minutes

For the wet sample, few changes would happen at once in the chart. Continuous exponential chart would divide into three periods. Two exponential periods more flat than in dry sample due to lowering of exponential parameter by additional heat capacity of water (ice on the negative temperature period), and one period is horizontal on the period of frozen water in material pores around 0°C. This way the chart should look like for distilled water in large spores. However, practically, water become a solution in most of building materials where pores are also small, and there's a dozen of factors that affect freezing.

Let's evaluate the calculation error that appears when finding an exponent parameter by formula (10). Following values of initial errors are applied. Temperature measuring has an error of 0.05°C, time error – 0.5 s. All the errors in equations are marked with symbol “ δ ”.

The result of this treatment helps finding local values with higher definiteness. Deviation from an average value is less than 2.5% when the temperature of the sample is higher than 5°C and less than 4% when temperature of the sample between –5°C to 5°C that is much precise than the uncertainty in finding k by Fig. 1.

Mass of the sample and its size are known with high precision. That's why it's possible to determine the heat exchange coefficient in freezer if specific heat of sample's material is known. And vice versa it's possible to determine specific heat of sample's material if heat exchange coefficient in freezer is known.

Wet sample research

The course of freezing process in combination with temperature in freezer are shown in Fig. 2. Compensating

for a few minutes after set up of warm sample, temperature in freezer is changing sawtoothly with an amplitude of 1.5°C and a period of approximately 45 minutes. Fluctuations of temperature in freezer decrease the measuring precision, especially with approximation of sample and freezer temperatures. Thereby, the results were unused when the difference between those temperatures was less than 5°C.

Fig. 2 shows the change of freezer temperature (blue markers) and sample temperature (red markers) in the research of water-saturated sample.

It is clear that freezing of the solution doesn't start at 0°C. Sample is cooling to –1.3°C first and then it instantly warms up to –0.6°C.

First step of processing the results of experiment is to make certain that sample's temperature changing exponentially on the periods outside phase transitions. Fig. 3 shows shifted temperature to time dependence in the experiment. Approximate periods of exponential growth and phase transition are marked with colors. Chart features different temperatures in freezer t_n for the positive and negative temperature periods. It's done for finding exponent parameter with higher precision due to changes of temperature in freezer in the experiment process. Selected t_n are found by averaging respective chart periods.

Visually, the change of temperature in freezer in the processing leads to vertical shift of chart at 128 minute. This shift happened due to specifics of the results processing and not the course of the process.

As we can see in Fig. 3, extreme periods are covered by the exponent with high precision. Unlike the chart of dry sample, here the exponent parameter is changing and equals 0.0187 min^{-1} before and 0.0204 min^{-1} after phase

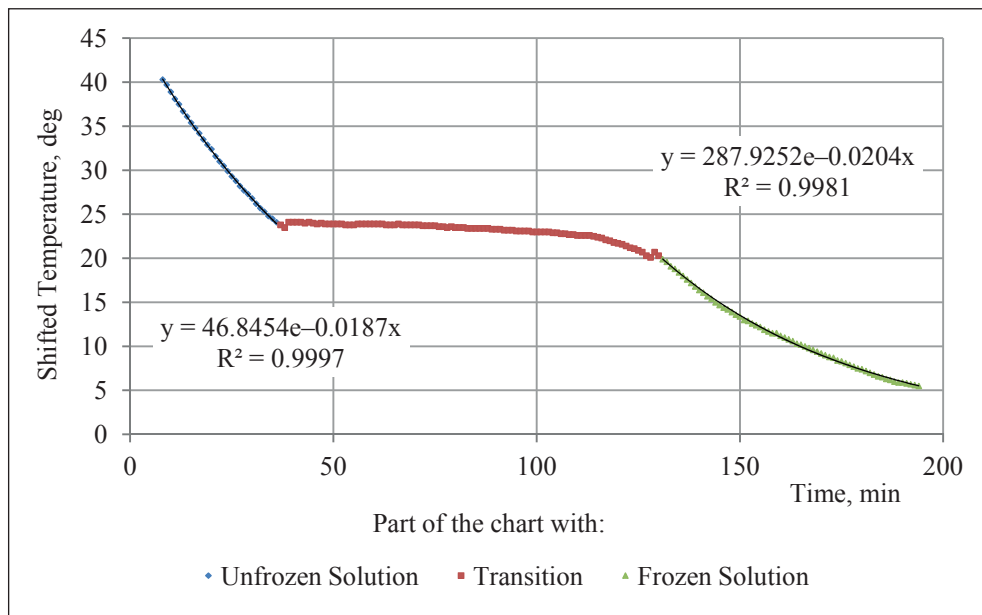


Fig. 3. Shifted temperature of water-saturated sample to time dependence

transition. Obviously, the exponent parameter changes due to change of heat capacity of the sample when solution freezes (heat capacity of the water approximately twice as high as heat capacity of ice).

Since the temperature in freezer was constantly changing in the measuring process (for a several degrees in total), it is necessary to use local values that defined in formula (10) to find exponential parameter with higher precision. This kind of processing made for periods with positive temperatures (unfrozen solution) and negative temperatures (completely frozen solution). Discovered effect of heat exchange difference between working and switched off freezer was used in processing.

Black dotted line in Fig. 3 shows exponential approximation of sample's temperature values below -8°C . Highlighted spot is the spot when exponential line diverge from experimental results (-4.5°C) enlarged shown in Fig. 4. This spot shows approximately the moment of complete freezing of the solution. In fact, the 100% freezing of the solution occurs on eutectic temperature and not affected by initial concentration. Therefore, most likely, precision become insufficient in that spot to determine the residual phase transitions in material.

More complete and precise knowledge of the solution freezing process (including 100% freezing spot) can be made by calculating the amount of unfrozen moisture directly from heat balance on the phase transition period. All the preparations has made, utility values are found from experimental data with maximum available precision.

In general case, solution's mass is frozen in 1 minute between sample's temperature measures that we can find by formula:

$$\Delta m_w = \frac{S\alpha_n(t_n-1)\Delta z - (c_k m_k + c_w m_w + c_l(m_{w0}-m_w))\Delta t}{\lambda_s}, \quad (11)$$

where λ_s is specific heat of solution's fusion, J/kg.

Formula (11) is found by assumption that the whole difference between given energy of the sample to the freezer and energy of sample cooling is found by solution's crystallization. Using this formula directly will lead to addition of an error of specific heat fusion and other minor errors to the definition of heat exchange and specific heat capacity coefficients. Because of this, result error would be considerably large.

Formula (11) can be changed to exclude parameters with the highest error:

$$\Delta m_w = \frac{t_n - t - \frac{c_k m_k + c_w m_w + c_l(m_{w0}-m_w)}{S\alpha_n \Delta z} \Delta t}{\frac{\lambda_s}{S\alpha_n \Delta z}}, \quad (12)$$

$$\Delta m_w = \frac{t_n - t - \frac{1}{k(m_w)\Delta z} \Delta t}{\frac{\lambda_s}{S\alpha_n \Delta z}}. \quad (13)$$

Exponential parameter changes in solution freezing process due to difference between specific heat capacity of water and ice. The value reciprocal of exponent parameter depend linearly to the mass of unfrozen water. Thus, sufficiently knowing the exponent parameter in two spots, we can draw the straight line and find reciprocal value without precision loss.

Using experiment data it is possible to determine the exponent parameter at 0°C – $k_1 = 0.00031 \text{ s}^{-1}$ and exponent parameter at -6°C – $k_2 = 0.00035 \text{ s}^{-1}$. Then:

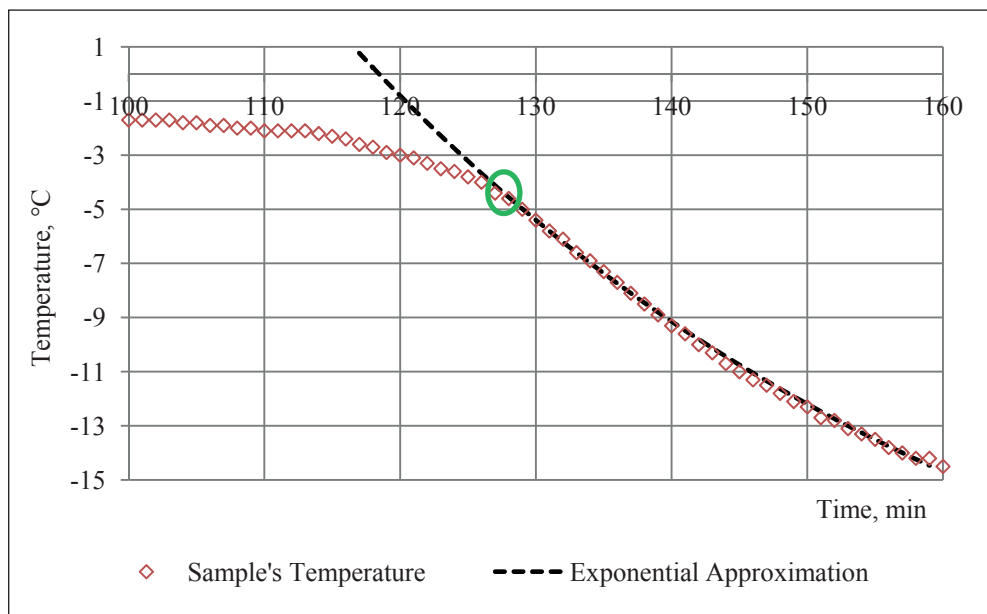


Fig. 4. Complete freezing spot of the solution in material pores

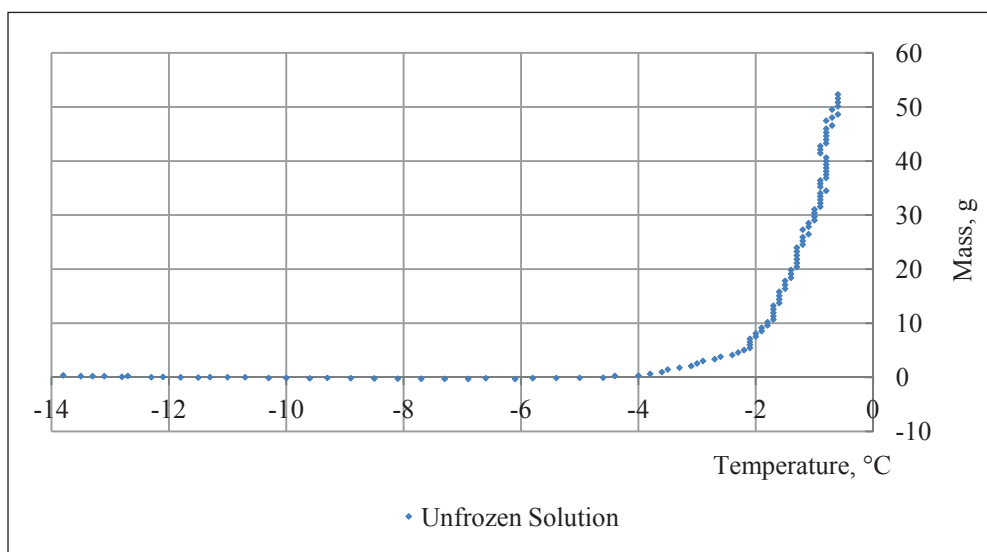


Fig. 5. Mass of the unfrozen solution to temperature dependence

$$\frac{1}{k(m_w)} = \frac{1}{k_2} + \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right) \frac{m_w}{m_{w0}} = 2857 + 6827m_w. \quad (14)$$

Formula (14) corresponds to working freezer. When the freezer is switched off, values from formula (14) should be multiplied by 1.1.

Formula (13) allows to draw the chart with unfrozen water to temperature dependence. The shape of the curve is mostly known so drawing it helps to revise unknown parameters. To draw the curve, it is necessary to determine the value of $\lambda_s/S\alpha_n$. Specifying the changes

of this parameter and temperature is too difficult and an error would exceed our gain in precision by specification. Based on the previously performed research for dry sample and tabulated value of melting heat of pure ice (330 kJ/kg, $\lambda_s/S\alpha_n = 1997000^\circ\text{C} \cdot \text{s/kg}$), because of low precision of heat exchange coefficient, preliminary error of parameter $\lambda_s/S\alpha_n$ can be evaluated as 10%.

The chart of mass of unfrozen water to temperature dependence shown in Fig. 5. Red dotted line show initial mass of the solution. Asymptote lines up with zero. Deviations of the dots from zero on the horizontal part

of the chart shows the real error of calculations. Their value equals ± 0.3 g and mostly occurs due to temperature sensor precision.

It is clear that the main process of freezing ends at -4.5°C . If the process continues, it is hardly distinguished from the measuring error and its value less than 1 gram (2%) of the agent.

CONCLUSIONS

1. Methodology of experiment to find temperature of moisture crystallization in brick material has been developed. The significance of this method is determined primarily by the fact that it enables the research of crystallization process at significant difference of masses of solid and liquid phases. It is developed with a possibility to be performed with available laboratory equipment.

2. In the development of the method, the new approach was used that determines the research of the water crystallization process from the solution at the conditions of nanoagents formation as salt hydrates. Moisture in the material considered as eutectic solution, obtained in

the process of hydration of some oxides and salts, from the composition of the material.

3. Mathematical method of analyzing the results of experiment has been developed. Results of the analysis shown high reliability of the results using developed method. Calculation error is less than 1%.

4. Analysis of developed method showing the direction to improve the calculation precision.

5. Using both developed laboratory experiment and mathematical method allows determination of important heat engineering calculations and calculations of materials durability: amount of unfrozen water in material, initial and final temperature of moisture crystallization in bricks, electrolyte concentration in moisture, and to prove the principal mechanism of moisture behavior in brick material from the physicochemical process perspective.

6. The possibility to determine salt concentration in the solution creates the conditions to develop nanotechnologies to manipulate the water freezing process in construction enclosures based on the changing of initial composition of the material.

REFERENCES

1. Fokin K.F. *Construction heat engineering of enclosing parts of buildings*. Moscow: AVOK-PRESS; 2006. 256 p. (In Russian).
2. Gagarin V.G. *Thermal performance as the main factor of energy saving of buildings in Russia*. Procedia Engineering «8th International Cold Climate HVAC 2015 Conference». Dailan: Elsevier; 2016. p. 112–119.
3. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. *Assessment of enclosing structure moisture regime using moisture potential theory*. MATEC Web of Conferences. Ho Chi Minh City: EDP Science; 2018. p. 3053.
4. Konovalov V.V. General regularities of the development of ecoysystem (deformation model). Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2012. 252 p.
5. Bermejo-Pareja F., Benito-León J., Vega S. at al. Incidence and subtypes of dementia in three elderly populations of central Spain. *J. Neurol. Sci.* 2008; 264: 63–72.
6. Zheldakov D.Yu. Methods of investigation of the kinetics of chemical corrosion of brickwork materials. *Izvestiya higher educational institutions. Construction*. 2019; 11: 74–86. (In Russian).
7. Mirnik M. Electrostatic and chemical interactions of ions in electrolytes and in ionic point-charge double layers II. *Progress in Colloid and Polymer Science*. 2000; 115: 334–341. Available from: [doi: 10.1007/3-540-46545-6_64](https://doi.org/10.1007/3-540-46545-6_64).
8. Properties of porous silicon / Ed. by L.Canham. London: EMIS Datareviews. Ser. No. 18, 1997.
9. Zheldakov D.Yu. Brickwork chemikal corrosion features, International science and technology conference «EarthScience». In: IOP Conf. Series: EarthandEnvironmentalScience. 459 (2020) 062089.
10. Butterworth B., Baldwin L.W. Laboratory test and the durability of brick: The indirect appraisal of durability (continued). *Transactions of the British Ceramics Society*. 1964; 63(11): 647–661.
11. Orlovich R.B., Nowak R., Vatin N.I., Bepalov V.V. Strength evaluation of the Prussian vaults made from brick aggregate concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 82 (6): 95–102. Available from: [doi: 10.18720/MCE.82.9](https://doi.org/10.18720/MCE.82.9).
12. Bepalov V., Orlovich R., Zimin S. Stress-strain state of brick masonry vault with an aperture. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 53. Art. no. 01009. Available from: [doi: 10.1051/matecconf/20165301009](https://doi.org/10.1051/matecconf/20165301009).
13. Franchi A., Crespi P., Ronca P., Pizzamiglio F. An in situ diagonal compression test for brick walls with displacement control on the two external layers. *International Journal for Housing Science and Its Applications*. 2014. 38 (1): 25–35.

14. Loganina V.I., Skachkov Y.P., Lesovik V.S. Quality control of building materials according to uncertainty of measurement and stability of the technological process of production. 1161:86-97. Available from: [doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1161](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1161).
15. Perovskaya K., Petrina D., Pikalov E., Selivanov O. Polymer waste as a combustible additive for wall ceramics production. In: E3S Web of Conferences. 2019. No.91. Art. no. 04007. Available from: [doi: 10.1051/e3s-conf/20199104007](https://doi.org/10.1051/e3s-conf/20199104007).
16. Vitkalova I., Torlova A., Pikalov E., Selivanov O. Development of environmentally safe acid-resistant ceramics using heavy metals containing waste. In: MATEC Web of Conferences. 2018. No. 193. Art. no. 03035.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry Yu. Zheldakov, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Laboratory of Construction Thermophysics, Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; Moscow, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4629-5583>; e-mail: djeld@mail.ru

Vladimir V. Kozlov, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Laboratory of Construction Thermophysics, Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; Moscow, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8826-0031>; e-mail: kozlov.v2@yandex.ru

Dmitry V. Kuznetsov, Cand. Sci. (Eng.), Director of the Institute of Architecture and Construction, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9967-0378>; e-mail: alex.03@mail.ru

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

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 15.09.2020.

Revised: 17.10.2020.

Accepted: 24.10.2020.



Исследование процесса кристаллизации влаги в кирпиче

Д.Ю. Желдаков^{1*} , В.В. Козлов¹ , Д.В. Кузнецов² , Д.А. Синицин²

¹ ФГБОУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

*Контакты: e-mail: djeld@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Решение вопросов поведения влаги в материале ограждающих конструкций особенно при знакопеременных температурах очень важно для обеспечения правильного расчета сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и в конечном счете создания комфортных условий проживания. Однако до настоящего времени в практике исследований характеристик материалов, применяемых в ограждающих конструкциях зданий, нет методики определения температуры кристаллизации влаги в материале, находящемся в твердой фазе. В основу исследований положен тезис, что вода, поступающая в материал ограждающей конструкции, в результате процесса гидролиза некоторых элементов, находящаяся в материале конструкции в виде оксидов и солей, представляет собой эвтектический раствор с непостоянным составом и концентрацией. Таким образом исследование процесса кристаллизации влаги переходит из области микро (при рассмотрении вопроса определения температуры кристаллизации по размерам пор материала) в область нано при исследовании эвтектического раствора при условии возможного образования гидратов.

Для лабораторного исследования процесса замерзания влаги, с учетом того, что процесс замерзания и оттаивания влаги в твердом теле изучается при значительной разнице в массе жидкой и твердой фаз, разработана методика эксперимента. Методика максимально упрощена с учетом широкого применения в производственных условиях.

Простота методики получения экспериментальных результатов компенсируется разработанным математическим аппаратом обработки результатов исследований. Математическое решение задачи основано на сравнении поведения кривых замерзания образца в сухом и насыщенном влагой образцах.

Разработанный метод позволил кроме температуры замерзания влаги получить дополнительные характеристики состояния влаги, такие как количество незамерзшей влаги в материале конструкции, температура переохлаждения, теплоемкость влаги в жидком и твердом состояниях, концентрация растворенных веществ. Знание концентрации растворенных веществ в материале, даже при условии отсутствия точного состава этих веществ, позволит управлять температурой замерзания влаги на уровне нанотехнологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поровая структура материала, кристаллизация влаги, температура переохлаждения, математическое моделирование процесса теплообмена.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Желдаков Д.Ю., Козлов В.В., Кузнецов Д.В., Синицин Д.А. Исследование процесса кристаллизации влаги в кирпиче // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 305–312. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-305-312.

ВВЕДЕНИЕ

Предметом исследования является изучение поведения влаги в ограждающих конструкциях при знакопеременных нагрузках. Объектом исследования — материал строительной керамики. Вопрос увлажнения материала ограждающей конструкции — один из основных вопросов, решаемых в области

строительной физики. От его решения во многом зависят долговечность, гигиеничность и энергоэффективность ограждающих конструкций [1, 2, 3]. Наличие влаги в материале кирпичной кладки значительно влияет на ее прочность [11, 12, 13]. Среди прочего при расчете влажностного режима ограждающей конструкции необходимо знать количество незамерзшей влаги в конструкции при любой температуре.

Задачей данной работы является создание методики математической обработки результатов лабораторных исследований процесса замерзания влаги в материале кирпича.

До настоящего времени в практике исследований характеристик материалов, применяемых в ограждающих конструкциях зданий, нет методики определения температуры кристаллизации влаги [4, 5]. Уникальность поставленной задачи исследований состоит в следующем:

- во-первых, изучается процесс замерзания и оттаивания влаги в твердом теле при значительной разнице в массе жидкой и твердой фаз;
- во-вторых, влага рассматривается как раствор сильных электролитов с очень низкой концентрацией [6,7,8];
- в-третьих, учитывается, что состав растворенных в воде элементов постоянно меняется в зависимости от наружных условий и исходного элементного состава твердого материала [9, 10, 14, 15, 16].

До настоящего времени при переходе температуры ограждающей конструкции через ноль процесс кристаллизации рассматривался как процесс замерзания воды в порах материала. Изменение количества незамерзшей воды в материале при разных отрицательных температурах объяснялось размерами пор материала. В данной работе влага в материале рассматривается как эвтектический раствор, полученный в процессе гидратации некоторых оксидов и солей, входящий в состав материала. Такой подход определяет изучение процесса кристаллизации воды из раствора при условии образования нановеществ в виде гидратов солей. При условии возможности определения концентрации солей в растворе возникает возможность управления процессом замерзания влаги в ограждающих конструкциях на основе нанотехнологий изменения исходного состава материала.

Целью исследования является разработка методики лабораторного эксперимента и методики математической обработки полученных в эксперименте данных для определения температуры кристаллизации влаги, количества незамерзшей влаги в материале, температуры переохлаждения, концентрации растворенных веществ, теплоемкости влаги в жидком и твердом состояниях.

В данной статье описывается только методика математической обработки результатов эксперимента. Описание методики и результатов самого эксперимента, а также результаты, полученные с применением описываемой методики математической обработки, будут опубликованы авторами позже.

Математическое описание эксперимента

В общем случае процесс теплопереноса в исследуемом образце описывается трехмерным уравнением теплопроводности с граничными условиями третьего рода:

$$c\gamma \frac{\partial t}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_1 \frac{\partial t}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_2 \frac{\partial t}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_3 \frac{\partial t}{\partial x_3} \right), \quad (1)$$

где x_1, x_2, x_3 – координаты, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – расчетные теплопроводности по соответствующим направлениям, Вт/(м·°C);

c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·°C);

γ – плотность материала, кг/м³;

z – время, с.

На границе образца происходит теплообмен с воздухом в морозильной камере. Предполагается, что образец имеет форму параллелепипеда и на всех гранях образца теплообмен протекает одинаково (поскольку более детальной информации об этом процессе нет). Поэтому ниже приведено граничное условие только для одной из граней.

При расположении осей системы координат вдоль ребер образца граничное условие принимает вид:

$$\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right) = \alpha_n (t_n - t), \quad (2)$$

где t_n – температура в морозильной камере, °C;

α_n – коэффициент теплообмена в морозильной камере, Вт/(м²·°C).

По сути формулы (1), (2) описывают перераспределение теплоты по образцу вследствие теплообмена с окружающей средой. В качестве начальных условий принимается равномерное распределение по образцу температуры t_0 , измеренной в эксперименте.

На гранях расчетного участка, контактирующих с воздухом морозильной камеры, будут выполняться граничные условия (2). На гранях расчетного участка, разрезающих образец, вследствие симметрии задачи записываются граничные условия второго рода, поток теплоты равен нулю, т.е. в условиях исследуемой задачи производная температуры по координате равна нулю:

$$\frac{\partial t}{\partial x_1} = 0 \Big|_{x_1=0}. \quad (3)$$

Аналогично записываются условия по остальным координатам.

Вследствие симметрии системы решение уравнения и граничных условий ищутся с помощью разделения переменных. Для краткости опустим ход решения и запишем сразу конечную формулу:

$$t = t_n + B \cos(\sqrt{\eta_1} x_1) \cos(\sqrt{\eta_2} x_2) \cos(\sqrt{\eta_3} x_3) e^{-\lambda \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{c\rho} z}, \quad (4)$$

где коэффициенты η_1, η_2, η_3 находятся из граничных условий, а коэффициент B — из начальных.

Для практического использования достаточно только первого члена ряда, т.е. формулы (4), в которой коэффициенты η_1, η_2, η_3 были определены из уравнения (5) на первом периоде тангенса в положительной полуплоскости:

$$\sqrt{\eta_1} d_1 \tan(\sqrt{\eta_1} d_1) = \frac{\alpha_n d_1}{\lambda}. \quad (5)$$

Доказано, что разброс температуры по образцу не оказывает существенного влияния на исследуемые закономерности вне участка фазовых переходов. Единственный процесс, при котором разброс температур может оказать искажающее воздействие — фазовый переход. Но фазовые переходы характерны только для увлажненных образцов, теплопроводность которых значительно больше, чем у сухого образца. Теплопроводность существенно влияет на разброс температур по образцу, сглаживает его. Не приводя всех выкладок вновь, укажем только, что для исследованного увлажненного образца разброс температур между самой теплой и самой холодной точками составил всего 14% от общего температурного перепада. Средняя температура и температура в месте расположения датчика в точности совпали.

Влияние разброса температур на точность измерения фазового перехода требует дополнительного изучения. Но благодаря полученным решениям уже сейчас можно указать организационные мероприятия, способствующие повышению точности измерений.

Используя испытываемые образцы достаточно малых размеров и с высокой теплопроводностью, можно пренебречь отклонением температуры в разных точках образца от среднего значения.

Это позволяет упростить математическое описание задачи, сведя его к теплообмену материальной точки с заданными свойствами теплообмена и теплоемкости.

Математическая модель для теплообмена материальной точки сводится к линейному дифференциальному уравнению первой степени:

$$cm \cdot (dt/dz) = S \alpha_n (t_n - t), \quad (6)$$

где m — масса образца, кг;

S — общая площадь поверхности образца, участвующей в теплообмене, m^2 .

Нужно дополнительно заметить, что под cm в уравнении (6) понимается обобщенная теплоемкость образца, которая из-за фазовых переходов

в процессе эксперимента меняется. Аналогично $S \alpha_n$ — это обобщенный коэффициент теплообмена образца, который может меняться в процессе эксперимента из-за особенностей работы морозильной камеры.

Из соображений удобства далее часто будет использоваться сдвинутая температура

$$\tau = t_n + t. \quad (7)$$

Для решения уравнения (6) требуется только одно граничное условие. Это начальное условие

$$t(0) = t_0. \quad (8)$$

Общий вид решения:

$$t(z) = t_n + (t_0 - t_n) e^{-kz}, \quad (9)$$

где k — показатель экспоненты, определяемый по формуле

$$k = S \alpha_n / cm. \quad (10)$$

Зависимость температуры от времени (9) должна получаться при проведении измерений на сухих образцах, для которых изменения характеристик образца и морозильной камеры за время проведения испытаний малы.

Постановка и результаты лабораторного эксперимента

Для проведения исследований был отобран кирпич марки М 100 с известным элементарным химическим и кристаллическим составом. В соответствии с условиями разработанной программы исследований испытания проводились на сухих образцах и образцах со 100% водонасыщением. Результаты эксперимента для сухих образцов представлены на рис. 1, для водонасыщенных образцов — на рис. 2.

На рис. 1 показано распределение температуры, полученное в эксперименте для сухого образца. На рис. приведен график сдвинутой температуры и аппроксимация зависимости экспонентой. Видно, что экспериментальные точки практически идеально ложатся на экспоненту. На графике опущены начальные и конечные точки, так как процесс в эти моменты времени сильно искажен. В начальный момент возмущение, связанное с установкой в камере теплового образца, приводит к значительному изменению температуры в камере. Пока эта температура восстанавливается, t_n быстро изменяется, а значит на этом участке формула (9) не является решением уравнения (6). На конечном участке нарастает

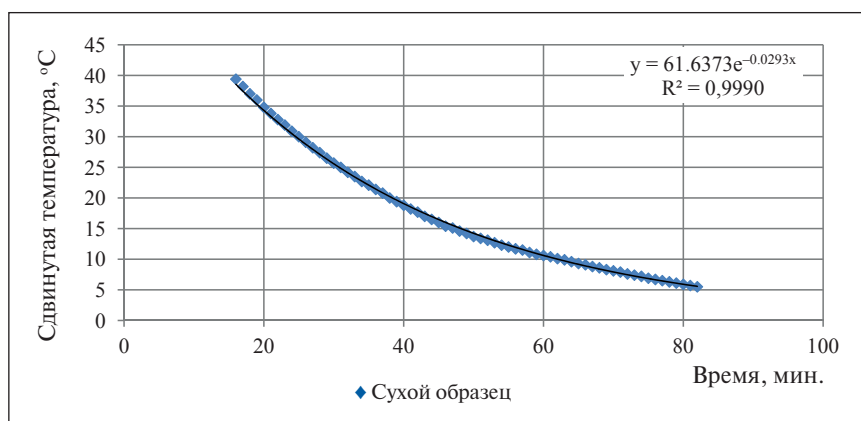


Рис. 1. Зависимость сдвинутой температуры от времени для сухого образца

погрешность, связанная с двумя факторами. Первый — температура в камере не постоянна, а переменная с периодическим изменением на $\pm 1,5^\circ\text{C}$ (период изменений 44 минуты). Второй — погрешность округления. Температура фиксируется датчиками с точностью до одной десятой градуса. Это не имеет значения, когда общий перепад температуры между образцом и камерой составляет десятки градусов, но со сближением этих температур погрешность округления начинает составлять все большую часть от общего перепада и на последнем участке приводит к погрешностям в десятки процентов.

Для влажного образца должно происходить сразу несколько изменений в графике. Сплошной экспоненциальный график должен разделиться на три участка. Два участка также экспоненциальные более пологие, чем для сухого образца, так как показатель экспоненты уменьшится за счет добавочной тепло-

емкости воды (на участке отрицательных температур льда), и один участок горизонтальный во время заморозания воды в порах материала около 0°C . Так график должен был бы выглядеть для дистиллированной воды в достаточно крупных порах. Но на практике в большинстве строительных материалов вода превращается в раствор, поры в том числе и мелких размеров, и возможен еще ряд факторов, влияющих на заморозание.

Оценим погрешность вычислений, возникающую при нахождении показателя экспоненты по формуле (10). При этом принимаются следующие значения первичных погрешностей. Температуры измеряются с погрешностью $0,05^\circ\text{C}$, время — с погрешностью 0,5 с. При вычислениях все погрешности величин обозначены добавлением символа δ .

Проведенная обработка позволяет найти местные значения с намного большей определенностью. Отклонение от среднего значения меньше 2,5% при температуре образца выше 5°C , и меньше 4% при температуре образца от -5°C до 5°C , что значительно лучше неопределенности в нахождении k по рис. 2.

Масса образца и его размеры известны с высокой точностью. Поэтому, зная удельную теплоемкость материала образца, по формуле (11) можно определить коэффициент теплообмена в морозильной камере. И наоборот, зная коэффициент теплообмена в морозильной камере, можно определить удельную теплоемкость материала образца.

Исследование влажного образца

Протекание процесса замораживания совместно со значениями температуры в морозильной каме-

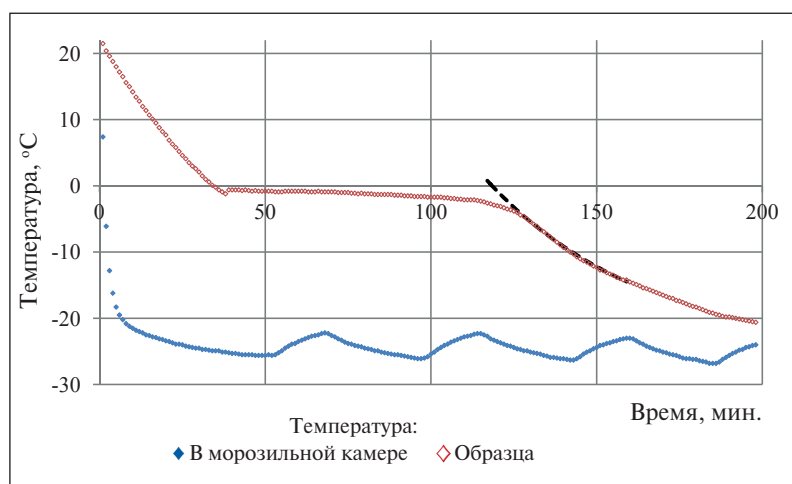


Рис. 2. Изменение температуры в камере (синие маркеры) и температуры образца (красные полые маркеры) в ходе испытаний полностью увлажненного образца

ре показано на рис. 3. Температура в морозильной камере, за несколько минут скомпенсировав возмущение от установки теплого образца, далее изменяется пилообразно с амплитудой в $1,5^{\circ}\text{C}$ и периодом примерно 45 минут. Колебания температуры в морозильной камере снижают точность измерений, особенно при температуре образца, приближающейся к температуре камеры. В связи с этим результаты, при которых температура образца отличалась от температуры в морозильной камере, менее чем на 5°C не использовались.

На рис. 2 показано изменение температуры в камере (синие маркеры) и температуры образца (красные полые маркеры) в ходе испытаний полностью увлажненного образца.

Видно, что замерзание раствора не начинается при 0°C . Образец сначала охлаждается до $-1,3^{\circ}\text{C}$, а затем происходит почти мгновенный отскок до $-0,6^{\circ}\text{C}$.

Первым шагом обработки результатов эксперимента необходимо убедиться, что на участках вне фазовых превращений температура образца изменяется по экспоненциальному закону. На рис. 3 показана зависимость сдвинутой температуры образца от времени в ходе испытаний. Ориентировочные участки экспоненциального развития и фазового перехода выделены цветами. Особенность графика в том, что для экспоненциальных участков с положительной и отрицательной температурами выбраны разные температуры морозильной камеры $t_{\text{н}}$. Это сделано для повышения точности нахождения коэффициентов экспоненты, так как при проведении эксперимента температура в камере изменялась. Выбранные $t_{\text{н}}$ найдены осреднением соответствующих участков графика.

Визуально смена температуры в морозильной камере при обработке приводит к вертикальному сдвигу графика на 128 минуте. Этот сдвиг обусловлен не протеканием процесса, а особенностями обработки результатов.

Как видно из рис. 3 крайние участки с высокой точностью описываются экспонентой. Здесь в отличие от графика для сухого образца показатель экспоненты изменяется и равен $0,0187 \text{ мин}^{-1}$ до фазового перехода и $0,0204 \text{ мин}^{-1}$ после фазового перехода. Изменение показателя экспоненты, очевидно, связано с изменением теплоемкости образца за счет замерзания раствора (теплоемкость воды примерно в 2 раза выше теплоемкости льда).

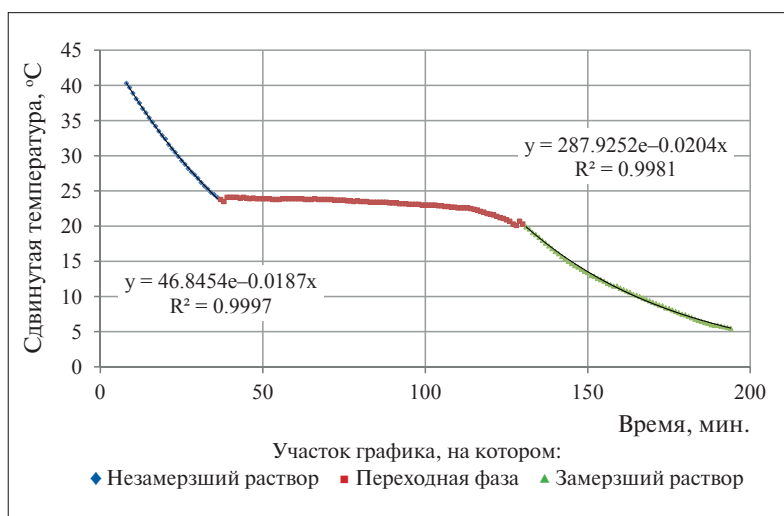


Рис. 3. Зависимость сдвинутой температуры образца от времени в ходе испытаний полностью увлажненного образца

Так как температура в морозильной камере в процессе измерений постоянно изменялась в сумме на несколько градусов, для повышения точности определения показателя экспоненты необходимо перейти к местным значениям, определяемым по формуле (10). Такая обработка проведена отдельно для участка с положительными температурами (незамерзшим раствором) и участка с отрицательными температурами (полностью замерзшим раствором). При обработке учитывался обнаруженный ранее эффект изменения теплообмена при работе и отключении холодильной машины.

На рис. 5 черная пунктирная линия показывает экспоненциальную аппроксимацию значений для температуры образца ниже -8°C . Место, где происходит расхождение экспоненциальной линии и результатов измерения ($-4,5^{\circ}\text{C}$), укрупненно показано на рис. 4. Эта точка приблизительно указывает на момент полного замерзания раствора. На самом деле стопроцентное замерзание раствора происходит при эвтектической температуре и не зависит от начальной концентрации, поэтому скорее всего в этом месте точность исследований становится недостаточной для суждения об остаточных фазовых переходах в материале.

Более полно и точно изучить процесс замерзания раствора, в том числе место стопроцентного замерзания, можно прямым расчетом количества незамерзшей влаги из теплового баланса на участке фазового перехода. Все подготовительные работы для этого проведены, вспомогательные величины найдены по экспериментальным данным с максимальной достижимой точностью.

В общем случае за 1 минуту между измерением температуры образца замерзает масса раствора, которую можно найти по формуле

$$\Delta m_b = \frac{S \alpha_n (t_n - t) \Delta z - (c_k m_k + c_b m_b + c_l (m_{b0} - m_b)) \Delta t}{\lambda_p}, \quad (11)$$

где λ_p — удельная теплота плавления раствора, Дж/кг.

Формула (11) находится из предположения, что вся разница между энергией, отданной образцом в морозильную камеру, и энергией остывания образца получена от кристаллизации раствора. Если использовать эту формулу непосредственно, то погрешность нахождения коэффициента теплообмена и удельной теплоемкости будет суммироваться с погрешностью удельной теплоты плавления и прочими более мелкими погрешностями. Из-за этого погрешность результата будет очень велика.

Формулу (11) можно преобразовать так, чтобы исключить параметры с наибольшей погрешностью нахождения:

$$\Delta m_b = \frac{t_n - t - \frac{c_k m_k + c_b m_b + c_l (m_{b0} - m_b)}{S \alpha_n \Delta z} \Delta t}{\frac{\lambda_p}{S \alpha_n \Delta z}}, \quad (12)$$

$$\Delta m_b = \frac{t_n - t - \frac{1}{k(m_b) \Delta z} \Delta t}{\frac{\lambda_p}{S \alpha_n \Delta z}}. \quad (13)$$

Показатель экспоненты изменяется в процессе замерзания раствора, так как удельная теплоемкость воды и льда отличается. Величина, обратная к показателю экспоненты, линейно зависит от массы

незамерзшей воды. Таким образом, достаточно точно зная показатель экспоненты в двух точках, мы можем провести прямую линию и находить обратную величину без потери точности.

Используя экспериментальные данные, можно определить показатель экспоненты при 0°C $k_1 = 0,00031 \text{ c}^{-1}$ и показатель экспоненты при -6°C $k_2 = 0,00035 \text{ c}^{-1}$. Тогда

$$\frac{1}{k(m_b)} = \frac{1}{k_2} + \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right) \frac{m_b}{m_{b0}} = 2857 + 6827 m_b. \quad (14)$$

Формула (14) соответствует включенной холодильной машине. При выключенной холодильной машине значения, полученные по формуле (14), нужно умножать на 1,1.

Формула (14) позволяет построить график зависимости незамерзшей воды от температуры. Во многом нам заранее известна форма этой кривой, поэтому ее построение помогает уточнить неопределенные параметры. Для построения кривой необходимо задаться значением $\lambda_p/S\alpha_n$, детализировать изменения этого параметра изменением температуры слишком сложно, и возникающая при этом погрешность превысит выигрыш, в точности получаемый при детализации. Исходя из ранее проведенных исследований для сухого образца и табличного значения теплоты плавления чистого льда, равной 330 кДж/кг , $\lambda_p/S\alpha_n = 1997000^\circ\text{C} \cdot \text{с/кг}$. Из-за невысокой точности определения коэффициента теплообмена предварительную погрешность нахождения параметра $\lambda_p/S\alpha_n$ можно оценить в 10%.

График зависимости массы незамерзшей воды от температуры показан на рис. 5. Красная пунктирная линия показывает начальную массу раствора. Асимптота совпадает с нулем. Отклонение

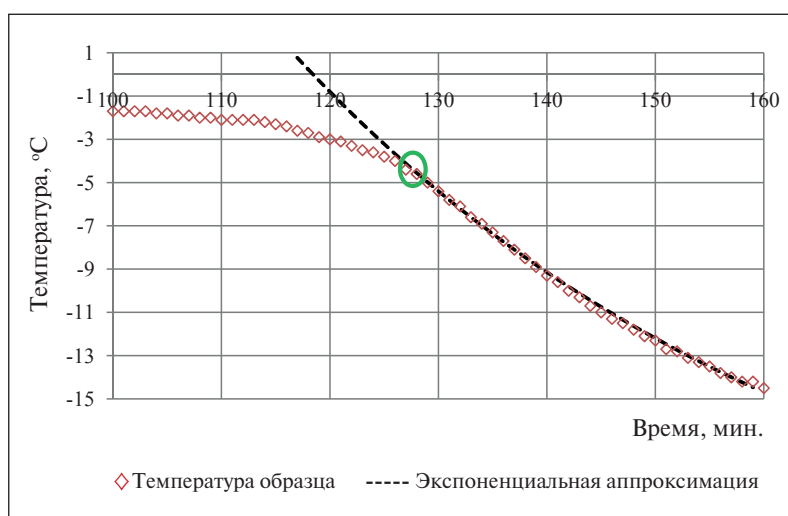


Рис. 4. Точка полного замерзания раствора в порах материала

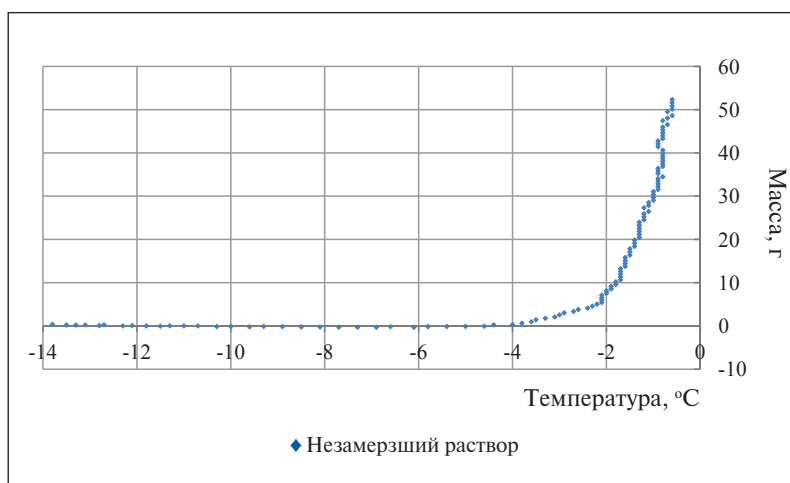


Рис. 5. График зависимости массы незамерзшего раствора от температуры

точек на горизонтальном участке графика от нуля показывают реальную погрешность расчетов. Они составляют $\pm 0,3$ г и по большей части вызваны ограничением точности датчика температуры.

Видно, что основное замерзание раствора заканчивается при $-4,5^{\circ}\text{C}$. После этого процесс если и продолжается, то он трудно отличим от погрешности измерений и захватывает не более 1 грамма (2%) вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

1. Разработана методика проведения эксперимента по определению температуры кристаллизации влаги в материале кирпича. Значимость данной методики определяется в первую очередь тем, что она позволяет исследовать процесс кристаллизации при значительной разнице масс твердой и жидкой фаз. Эксперимент разработан с учетом возможности его проведения с использованием доступного лабораторного оборудования.

2. При разработке методики применен новый подход, который определяет изучение процесса кристаллизации воды из раствора при условии образования нановеществ в виде гидратов солей. Влага

в материале рассматривается как эвтектический раствор, полученный в процессе гидратации некоторых оксидов и солей, входящий в состав материала.

3. Разработана математическая методика обработки результатов эксперимента. Результаты анализа, проведенные с использованием разработанной методики, показали высокую достоверность результатов. Погрешность расчетов не превышает 1%.

4. Анализ разработанной методики позволяет выявить направление увеличения точности расчетов.

5. Применение разработанных лабораторного эксперимента и математической методики позволяют определить важные для теплотехнических расчетов и расчетов долговечности материалов значения количества незамерзшей воды в материале, температуры начала и конца кристаллизации влаги в кирпиче, концентрацию электролита во влаге, а также доказать принципиальный механизм поведения влаги в материале кирпича с точки зрения физико-химических процессов.

6. Возможность определения концентрации солей в растворе создает условия для разработки нанотехнологий управления процессом замерзания влаги в ограждающих конструкциях на основе изменения исходного состава материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. — М: АВОК-ПРЕСС, 2006. — 256 с.
2. Gagarin V.G. Thermal performance as the main factor of energy saving of buildings in Russia // Procedia Engineering «8th International Cold Climate HVAC 2015 Conference». — Dailan: Elsevier, 2016. — P. 112–119.
3. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Assessment of enclosing structure moisture regime using moisture potential theory // MATEC Web of Conferences. — Ho Chi Minh City: EDP Science, 2018. — P. 3053.

4. Коновалов В.В. Общие закономерности развития экогеосистем (деформационная модель). — Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2012. — 252 с.
5. Bermejo-Pareja F., Benito-León J., Vega S. et al. Incidence and subtypes of dementia in three elderly populations of central Spain // J. Neurol. Sci. — 2008. — V. 264. — P. 63–72.
6. Желдаков Д.Ю. Методы исследования кинетики процесса химической коррозии материалов кирпичной кладки // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2019. — № 11. — С. 74–86.
7. Mirnik M. Electrostatic and chemical interactions of ions in electrolytes and in ionic point-charge double layers II // Progress in Colloid and Polymer Science. — 2000. — V. 115. — P. 334–341. DOI: [10.1007/3-540-46545-6_64](https://doi.org/10.1007/3-540-46545-6_64).
8. Properties of porous silicon / Ed. by L. Canham. — London: EMIS Datareviews. Ser. No.18, 1997. — 400 p.
9. Желдаков Д.Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса // Строительные материалы. — 2019. — № 4. — С. 36–43.
10. Butterworth B., Baldwin L.W. Laboratory test and the durability of brick: The indirect appraisal of durability (continued) // Transactions of the British Ceramics Society. — 1964. — No. 63(11). — P. 647–661.
11. Orlovich R.B., Nowak R., Vatin N.I., Bepalov V.V. Strength evaluation of the Prussian vaults made from brick aggregate concrete // Magazine of Civil Engineering. — 2018. — No. 82(6). — P. 95–102. DOI: [10.18720/MCE.82.9](https://doi.org/10.18720/MCE.82.9).
12. Bepalov V., Orlovich R., Zimin S. Stress-strain state of brick masonry vault with an aperture // MATEC Web of Conferences. — 2016. — No. 53. Art. no. 01009. DOI: [10.1051/mateconf/20165301009](https://doi.org/10.1051/mateconf/20165301009).
13. Franchi A., Crespi P., Ronca P., Pizzamiglio F. An in situ diagonal compression test for brick walls with displacement control on the two external layers // International Journal for Housing Science and Its Applications. — 2014. — No. 38(1). — P. 25–35.
14. Loganina V.I., Skachkov Y.P., Lesovik V.S. Quality control of building materials according to uncertainty of measurement and stability of the technological process of production. No. 1161. P. 86–97. DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1161](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1161).
15. Perovskaya K., Petrina D., Pikalov E., Selivanov O. Polymer waste as a combustible additive for wall ceramics production // E3S Web of Conferences. — 2019. — No. 91. Art. no. 04007. DOI: [10.1051/e3sconf/20199104007](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199104007).
16. Vitkalova I., Torlova A., Pikalov E., Selivanov O. Development of environmentally safe acid-resistant ceramics using heavy metals containing waste // MATEC Web of Conferences. — 2018. — No. 193. — Art. no. 03035.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Желдаков Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория строительной теплофизики, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук; Москва, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4629-5583>; e-mail: djeld@mail.ru

Козлов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория строительной теплофизики, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук; Москва, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8826-0031>; e-mail: kozlov.v2@yandex.ru

Кузнецов Дмитрий Валерьевич, кандидат технических наук, директор Архитектурно-строительного института, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9967-0378>; e-mail: alex.03@mail.ru

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 15.09.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 17.10.2020.

Статья принята к публикации: 24.10.2020.



Application of statistical methods for solving problems of construction materials science

A.D. Zhukov^{1,2,3} , E.U. Bobrova^{2*} , I.V. Bessonov³ , A.A. Medvedev^{1,4} , B.A. Demissie¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

² National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

³ Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

⁴ Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

* **Contacts:** e-mail: mla-gasis@mail.ru

ABSTRACT: In the areas of construction materials science, the most promising solution is a set of issues related to the study of the influence of conditions for the formation of the material structure, including the possibilities of its self-organization, on its properties. The chemical and physical aspects of this influence are studied at the micro level, using the entire complex of “subtle” studies. At the same time, there are methods that allow us to assess the possibility of nanoeffects in experiments carried out at the macro level: in production or in the laboratory.

One of these methods is the method described in the article. The main provisions of the methodology have been formed on the basis of statistical methods for conducting experiments and studying technological processes. This technique can significantly reduce the number of experiments performed while maintaining the adequacy of the results obtained and makes it possible to perform further analytical optimization of the results and their engineering interpretation. In particular, application of this technique allows evaluating joint influence of various factors on the result, that makes it possible to identify synergistic and antagonistic effects and then test them at the micro level by studying the nanostructure of materials.

The article, as an example, considers the technology of concrete, focused on the utilization of concrete scrap as a filler or filler in building materials for various purposes. The results of research on the development of composite binder compositions based on fine-ground concrete scrap waste, mineral binder, synthetic fibers and polymers cured as a result of chemical interaction with the components of the concrete mixture are presented. This binder can be used for making various wall elements of buildings.

KEYWORDS: model, optimization, concrete, waste, nanostructures, composite material, technology.

FOR CITATION: Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A. Application of statistical methods for solving problems of construction materials science. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(6): 313–319. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-313-319.

INTRODUCTION

The creation of effective materials and optimization of technological processes involves the use of modern methodologies for studying the conditions for the formation of a material’s microstructure (including self-organizing nanostructures), as well as the possibility of evaluating its properties by conducting experiments in production or in a technological laboratory. An obvious but implicit factor is the material and time spent on conducting experiments that are the basis for creating a material or optimizing its properties [1–3].

It is possible to optimize the number of experiments and, consequently, the consumption of materials, energy, and time using statistical methods for organizing and processing experimental results, mathematical modeling, and analytical optimization of the results obtained [4–5].

Mathematical planning of an experiment is an important part of solving technological problems on a computer for finding equations of mathematical models of technological processes or phenomena. The correct choice of a model or simulation system is, in many cases, the basis for making the right decisions on the implementation of the experiment, both in terms of achieving its results and in

terms of saving costs for its implementation. Methods of organizing and planning a multi-factor experiment are also essential: when constructing incomplete quadratic and quadratic mathematical models, using full and fractional factor plans that meet the optimality conditions [6–8].

The resulting dependencies (regression equations or algebraic polynomials) allow us to evaluate the influence of each of the factors on the result. In particular, the use of such methods makes it possible to assess the joint influence of various factors on the result [9–11]. This makes it possible to estimate the probability of synergistic and antagonistic effects. As practice shows, it is these effects (the effects of the joint influence of various process parameters) that underlie the emergence of self-organizing nanostructures at the micro level, which are checked using “fine” research methods.

The resulting models and the developed research methodology fully correspond to the development priorities of the construction industry, including the recommended development of digital technologies, the formation of analytical databases and computer visualization of construction processes.

The use of digital methods can significantly increase the reliability of obtaining results in the process and during processing of experimental data, use statistical methods to assess the reliability of models and the significance of the influence of factors, and at the same time significantly reduce the material costs of implementing experimental studies. This is an indirect, but very significant contribution to improving the energy efficiency of construction technologies [12–14].

On the other hand optimization of material formulations or manufacturing processes is also a form of energy efficiency improvement and is already implemented in applied tasks. An example of such an applied implementation of the developed methodologies is their application to concrete technology and, in particular, to the disposal of waste from the production of mineral binders, concrete, and construction scrap. The need to dispose of such materials follows, firstly, from the fact that any waste from concrete production contains a certain (or rather an indefinite but definable) percentage of unreacted Portland cement, and, secondly, the need to preserve such scrap leads to the alienation of significant territories, which negatively affects the environmental parameters of the environment and reduces the possibility of useful use of such territories.

The world and domestic experience of waste disposal indicates the possibility of using concrete scrap in road fillings, for leveling territories, or as a filler or filler in construction materials for various purposes [15–17]. The article presents the results of experimental studies aimed at developing a method for selecting compositions of composite material based on fine-ground waste

of concrete scrap, mineral binder and super plasticizer, carried out using statistical methods.

The basis of the experiment on the example of which the implementation of statistical methods is considered was the assumption that increasing the strength and durability of concrete can be achieved by improving the quality of the contact zone and using polymers that increase the elasticity of the formed contacts. This is achieved by pretreating the aggregate with a complex additive, as well as using a polyurethane polymer group that is cured by moisture vapors contained in the air.

METHODS AND MATERIALS

The methodology of the experiment is based on a system analysis that includes the following elements:

- Research of technology and processes of its components;
- Study of the formulations and formulations of the compositions and raw materials;
- Situational analysis and model type selection;
- Development of an experiment planning strategy, selection of factors, responses, and optimization parameters;
- Conducting and processing experimental results, as well as testing statistical hypotheses;
- Optimization of experiment results;
- Engineering interpretation of the experiment results.

The research is based on the methodology of THE NRU MGSU, which is based on conducting an experiment in three stages with an analytical assessment of the results (the fourth stage) [18, 19].

At the first stage, a comprehensive analysis of the research object is carried out: the technology as a whole or its individual components, including those related to the solution of prescription issues (selection of the composition of the initial compositions, for example). Factors of influence are divided into two groups: deterministic (the value can be precisely set for each situation) and variable (the change of which can be estimated by mathematical statistics).

At the second stage, an experiment is performed (active, passive, or combined), in which all the established variable factors are involved. The factors in the experiment ($X_1, X_2 \dots X_j$) are used in encoded form that is, reduced to the interval $[-1, +1]$. For example, a fractional replica from a full three-factor experiment (2^3) allows you to estimate the linear influence of 7 factors, and a full four-factor experiment-the linear influence of 14 factors.

A series of experiments is implemented according to a plan, the matrix of which is a fractional replica of an incomplete quadratic equation of a higher order. In this case, the coefficients for mixed interactions are assigned the value of variable factors.

After conducting the experiment and processing its results, regression equations are obtained, in which the influence of each factor on the result is estimated by the coefficient at $X_1, X_2, \dots, X_i$. As a result, a group of the most significant factors with the highest coefficients in absolute value (usually from three to five coefficients) is determined.

At the third stage, a series of experiments is carried out, the plan of which is based on the matrix of a complete quadratic $3 \dots 5$ factor experiment (according to the number of selected most significant factors). The obtained regression equations are checked for all statistical hypotheses and the models' adequacy is checked by the Fisher criterion. As a result of statistical checks, only significant factors are left out as a result of comparison with confidence intervals (Δb_j), and as a result of testing using the Fischer criterion, a conclusion is made about the adequacy (or inadequacy) of the obtained models.

At the fourth stage, the obtained equations are analyzed and the influence of various factors on the result is estimated, analytical optimization of regression equations and engineering interpretation of the results are performed.

Evaluation of the influence of each factor on the result is carried out by the value and sign of the coefficient facing the factor (its linear value or quadratic function) or their pair interaction. It should be noted that the experiment is carried out in coded values of factors (reduced to the interval $[-1, +1]$, so the coefficients for paired interactions allow us to conclude only about the joint influence of these factors on the result and the direction of this influence, as well as the possibility, but not about the magnitude of synergistic or antagonistic effects. These effects can only be detected by using the natural values of the factors in the regression equation.

Interpolation of the results consists in calculating the strength and average density of the material depending on the values of the variable factors and is carried out by implementing computer programs. This program includes the following blocks: input data (values of factors

in real terms), a block coding factors, calculation block, and the output results on the display.

The equations are optimized using an analytical method. Which is based on the following provisions: the obtained regression equations adequately describe the technological process under study; each equation is an algebraic function of several variables (by the number of significant variable factors) and mathematical analysis methods are used to study this function.

RESULTS

Based on the results of the implementation of the first and second stages, the costs of cement, fine-ground waste, screening, plasticizer and reinforcing component were taken as variable factors. Water consumption is set in accordance with the w/c and is not an independent factor. The response functions are the compressive strength of concrete (Y_1) and its average density (Y_2).

As an optimization parameter at the third stage of the experiment, the coefficient of structural quality of concrete (KCC) was adopted, which is equal to the ratio of the compressive strength of concrete (Y_1) to its average density (Y_2):

$$KCC = (Y_1)/(Y_2)$$

The experimental conditions of the third stage are presented in table 1. The consumption of the reinforcing component is assumed to be constant and equal to 1.0%

Mathematical processing of the experimental results allowed us to obtain regression equations for compressive strength (Y_1) and average density (Y_2). The significance of the coefficient was checked by confidence intervals, respectively, the confidence interval for the density was $\Delta b_1 = 0.8$ MPa, and for the average density $\Delta b_2 = 3$ kg/m³.

The following mathematical models (polynomials) are obtained):

– for compressive strength

$$Y_1 = 32.7 + 3.7X_1 + 1.6X_2 + 1.9X_3 + 1.5X_1X_3 - 1.1X_2^2;$$

Table 1.

The intervals of variation of factors

Name of the factor	Symbol X_i	Average value of the factor, $\bar{X}_i$	The range of variation, ΔX_i	The values of the factor levels	
				–1	+1
Consumption of Portland Cement, kg/m ³	X_1	450	50	400	500
The consumption of plasticizer, kg/m ³	X_2	2	0.5	1.5	2.5
Consumption of fine milled waste, kg/m ³	X_3	650	50	600	700

– formed medium density:

$$Y_2 = 1930 + 52X_1 + 24X_2 + 32X_3 + 11X_1X_3 - 6X_2^2.$$

The obtained models are checked for adequacy by the Fisher criterion. The calculated values of the Fischer criteria are equal for the average density model $F_1 = 15.2$ and for the compressive strength model $F_2 = 15.7$. Table of criteria values, respectively, equal to the 19.2 and 19.3. The calculated value of F-test do not exceed the table, and with the appropriate confidence level (98%) model can be considered adequate. This fact will be taken into account in the analytical optimization of mathematical models.

DISCUSSION

Analysis of the coefficients of the equation $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ shows that the strength of the composite binder increases with increasing costs of Portland cement, plasticizer and fine-ground secondary btkon in the intervals taken in the experiment (positive coefficients for X_1, X_2, X_3).

When the polymer costs increase, first there is an increase in strength, and then at high costs – there is a decrease (coefficients at X_2 and X_2^2). This suggests that the function $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ has a local extreme in X_2 , and analytical optimization can be applied.

Analysis of the coefficients of the equation $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ shows that the greatest influence on the increase in concrete density is exerted by an increase in the consumption of Portland cement and dropout (coefficients at X_1 and X_3). Analysis of the coefficients of the equation $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ shows that the greatest influence on the increase in concrete density is exerted by an increase in the consumption of Portland cement and dropout (coefficients at X_1 and X_3).

Analysis of the coefficients of the equation $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ shows that the greatest influence on the increase in concrete density is exerted by an increase in the consumption of Portland cement and dropout (coefficients at X_1 and X_3). Increasing the consumption of plasticizer helps to increase the density: at first, intensive, and at high costs – insignificant.

For the equations of both strength and average density, the pair interaction at X_1X_3 is significant. The “plus” Sign for the value of the pair interaction factor suggests the possibility of a joint strengthening effect on the result due to the interaction of fine phases of the binder and secondary concrete containing some unreacted clinker minerals.

The technique under consideration, which is based on a cybernetic system called “black box”, is limited only to external interactions and obtaining dependencies that link the result and variable factors, but does not consider the internal processes occurring in such systems.

The results of research by Russian and foreign scientists show that in such highly dispersed systems, effects can occur due to the interaction of components at the micro level with the creation of organized structures. If the effects are aimed at improving the properties of the material, then the purpose of “fine” research is to study the possibility of prescription or technological enhancement of these effects by forming self-organizing nanostructures. If the interaction effect is aimed at deterioration of properties, then research is needed that minimizes, in this case, the negative influence factor. In this case, it is already necessary to apply the entire apparatus and methodology of nanostructure research.

We can say that the use of statistical methods perform the function of “scissors” (or blades) Occam, allowing you to cut off the excess at the technological stage without resorting to “thin” expensive research.

In particular, according to experiments on modified concrete using waste conducted in the technological laboratory, it was found that for strength and average density, the pair interaction at X_1X_3 is significant, which indicates a possible synergistic effect due to the interaction of fine-dispersed phases of the binder and concrete waste containing some unreacted clinker minerals. Accordingly, the directions of further scientific research are to study the possibility of forming nanostructures in the interaction of components of binder and fine-ground secondary concrete.

Analysis of the polynomial describing the relationship between compressive strength and variable factors shows that this function (which is essentially a function of several variables) for one of these variables, namely, polymer consumption (X_2), has a local extreme. Therefore, we can use the mathematical apparatus of analytical local optimization.

Analytical optimization is based on the fact that the functions for strength and density $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ and $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ are mathematical and mathematical analysis methods can be applied to them, provided that the adequacy condition is not violated. In this case, the following scheme is adopted:

- the equation $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ is differentiated by X_2 and equated to zero, determining the extreme of the function Y_1 by X_2 ;
- solve the functions $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ and $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ for $X_2 = \text{opt}$ and perform local optimization.

Analytical optimization includes the following sequence of actions:

1. Analytical optimization includes the following sequence of actions: $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ by X_2 :

$$\partial Y_1 / \partial X_2 = 1.6 - 2.2X_2 = 0 \rightarrow X_2 = 1.6 / 2.2 = 0.73.$$

2. We calculate the value of the natural value of the plasticizer consumption (corresponding to the possible

maximum compressive strength of polymer concrete) using the decoding formula:

$$\tilde{X}_2 = \bar{X}_2 + \Delta X_2 \cdot 0.73 = 2.0 + 0.5 \cdot 0.73 = 2.36 \pm 0.02 \text{ kg/m}^3.$$

3. We calculate mathematical models (polynomials) for the optimized value of the factor $X_2 = 0.73$:

- for compressive strength: $Y_1 = 33.5 + 3.7X_1 + 1.6X_3 + 1.5X_1X_3$;
- for medium density: $Y_2 = 1944 + 52X_1 + 32X_3 + 11X_1X_3$.

The graphical interpretation of the received dependencies consists in the representation of the received dependencies $Y_1 = f_3(X_1, X_3)$ and $Y_2 = f_4(X_1, X_3)$ with the optimized value of X_2 in the Cartesian coordinate system (X_1, X_3) and the response function as a variable parameter: $X_1 = \varphi_1(X_3, Y_1)$ and $X_1 = \varphi_2(X_3, Y_2)$. Then go from the encoded values of the variable factors to the natural values of the factors.

Interpolation solutions for the entire range of changes in the consumption of Portland cement and the consumption of fine-ground waste (factors X_1, X_3) with an optimized value of factor X_2 (optimal plasticizer consumption $2.36 \pm 0.02 \text{ kg/m}^3$) are presented graphically (Fig. 1) in the form of a nomogram.

The Nomogram can be used for predicting properties or selecting the composition of finishing concrete, solving direct (example I) or inverse problems (example II).

For example, to evaluate the properties of polymer concrete with a fine-milled waste content of 670 kg/m^3 and a Portland cement consumption

of 450 kg/m^3 , follow the steps shown in the red line in Fig. 3 (example I); the compressive strength ($R = 31.6 \text{ MPa}$) and the average density of concrete ($\rho = 1864 \text{ kg/m}^3$) are determined by interpolation. To get the consumption of polymer concrete components with the specified compressive strength $R = 32 \text{ MPa}$ and an average density of 1870 kg/m^3 , you need to perform the steps shown in the blue line in Fig. 1 (example II). We get the consumption of Portland cement 472 kg/m^3 , and the permissible consumption of fine-ground waste 645 kg/m^3 . Then we carry out control mixes and check the experimental calculation data obtained.

CONCLUSIONS

The use of statistical methods, the methodology of planning and processing the results of the experiment allows us to obtain mathematical dependencies (models) and involves checking both the main statistical hypotheses and the significance of coefficients and effects from their pair interactions, and thus makes it possible to predict further research at all levels.

If the effects are aimed at improving the properties of the material, the goal of the next stage of research is to study the possibility of prescription or technological enhancement of these effects by forming self-organizing nanostructures. If the interaction effect is aimed at deterioration of properties, then research is needed that minimizes, in this case, the negative influence factor. In this case, it is necessary to apply the entire apparatus and methodology of research of self-organizing nanostructures, interactions at the level of which can be the cause of the identified macro effects.

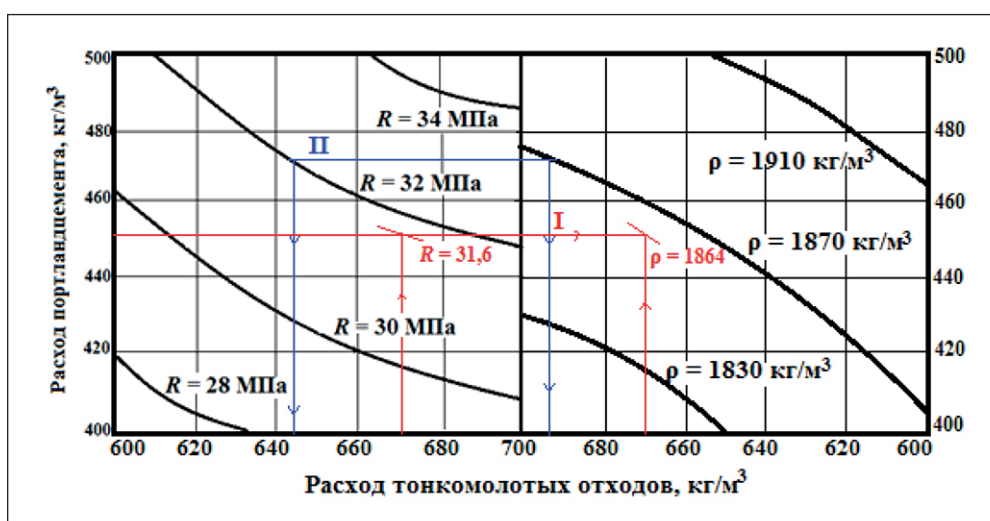


Fig. 1. Nomo gram for evaluating the properties of concrete based on its waste composition (example I) and determining the consumption of Portland cement and fine-ground waste for concrete with a given strength and density (example II)

If the systems are highly dispersed, then such systems may exhibit effects due to the interaction of components at the micro level with the creation of organized structures. According to experiments on modified concrete using waste, conducted in the technological laboratory, it was found that for strength and average density, the pair interaction is significant, which indicates a possible synergistic effect due to the interaction of fine-dispersed phases of the binder and concrete waste containing some unreacted clinker minerals. Accordingly, the directions of further scientific research are to study the possibility of forming nanostructures in the interaction of components of binder and

fine-ground secondary concrete. The experimental methodology described in the article was tested when analyzing technologies and selecting recipes for various building materials, including binders and concretes based on secondary products and waste obtained as a result of renovation of objects removed from the housing stock. The results obtained and the databases generated at the same time fully comply with the recommendations for digitalization of construction technologies.

The results of scientific research on the development of composite binder compositions allow us to form the basis for selecting its composition of composite binder.

REFERENCES

1. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. *Experiment planning in the search for optimal conditions*. 2nd ed. Moscow: Nauka, 1976.
2. Voznesensky V.A. *Statistical methods of experiment planning in technical and economic research*. Moscow: Finance and statistics, 1981.
3. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D. *Experiment and modeling in the creation of new insulation and finishing materials*. Moscow: Moscow state University of civil engineering, EBS ASV, 2013. Available from: <http://www.iprbookshop.ru/23755>. EBS «IPRbooks», by password ISBN: 978-5-7264-0700-5.
4. Zhukov A.D., Chugunkov A.V. Local analytical optimization of technological processes. MGSU Bulletin. 2011;1-2: 273–278.
5. Shannon R. *System simulation is an art and science*. Moscow: Mir, 1982.
6. Zhukov A.D. *Technological modeling*. Moscow: Moscow state University of civil engineering, EBS ASV; 2013. Available from: <http://www.iprbookshop.ru/20041>. EBS «IPRbooks», by password ISBN: 978-5-7264-0780-7.
7. Hartman K., Hartman K., Leptsky E., Schaefer V. *Planning an experiment in research of technological processes*. Moscow: Mir, 1977.
8. Zhukov A.D., Chugunkov A.V., Rudnitskaya V.A. *Solution of technological problems by methods of mathematical modeling*. Moscow: MGSU, 2011.
9. Pisarenko J.V., Ivanov L.A., Wang C. Nanotechnology in construction: present state and development trends. *Nanotechnology in construction*. 2020; 12(4): 223–231. Available from [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231).
10. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review. *Construction and Building Materials*. 2010; 24: 2060–2071. Available from [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014).
11. Velichko, E., Shokodko, E. Reactive powder concrete based on multicomponent cement systems with multilevel optimization of the disperse composition. MATEC Web of Conferences. 2018; 251: article number 01042. Available from [doi: 10.1051/mateconf/201825101042](https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101042).
12. Murtazaev S.-A.Yu., Bata D.K.-S., Ismailov Z.H., Murtazaev S.-Y.A. *Fine-grained concrete on the basis of the fillers from recycled materials*. Moscow: Komtekhpriint, 2017.
13. Bags P.I., Mokin, V.A. Methods of optimization of compositions of dry building mixes. *Building materials*. 2000;5: 12–14.
14. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Gudkov P.K. *Practicum on technological modeling*. Moscow: Moscow state University of civil engineering, EBS DIA; 2014. Available from: <http://www.iprbookshop.ru/30351>. – EBS «IPRbooks», by password ISBN: 978-5-7264-0903-0.
15. Zhukov A., Shokodko E., Bobrova E., Bessonov I., Dosanova G., Ushakov N. Interior Acoustic Materials and Systems. *EMMFT-2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019; 983: 740–747. Available from [doi: 10.1007/978-3-030-19868-8_72](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8_72).
16. Efimenko A.Z., Pilipenko A.S. Obtaining decorative finishing materials for facade systems on aggregates from concrete waste. *MGSU Bulletin*. 2009; Special issue: 100–103.

17. Gorbunov G.I., Zhukov A.D. *Scientific bases of formation of structure and properties of building materials*. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, AI PI er Media, EBS ASV; 2016. Available from: <http://www.iprbookshop.ru/49870>. EBS «IPRbooks», by password ISBN: 978-5-7264-1318-1.

18. Zhukov A., Shokodko E. Mathematical Methods for Optimizing the Technologies of Build-ing Materials. VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020;1116: 413–421. Available from [doi: 10.1007/978-3-030-37919-3_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_40).

19. Bessonov I., Zhukov A., Shokodko E., Chernov A. Optimization of the technology for the pro-duction of foam glass aggregate. TPACEE 2019. E3S Web of Conferences, 2020. 164: article number 14016. Available from [doi: 10.1051/e3sconf/202016414016](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016414016).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksey D. Zhukov, Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Build-ing Materials and Materials Science, NRU MGSU, Leading Researcher at the Research Institute of Construction Physics (NIISF RAASN), Deputy Director of the REC for Comprehensive Modernization of Housing and Utilities Infrastructure at the HSE GASIS Institute, Corresponding member of the Russian Academy of Engineering (RIA), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0593-3259>, e-mail: lj211@yandex.ru

Ekaterina Yu. Bobrova, Cand. Sci. (Econ.), Adviser to the Director of the Institute of Construction and Housing and Communal Services of The state Academy of Investment Specialists Of the National Research University Higher school of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6541-4552>, e-mail: mla-gasis@mail.ru

Igor' V. Bessonov, Cand. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Adviser to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9234-4075>, e-mail: bessonoviv@mail.ru

Andrey A. Medvedev, Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, NRU MGSU, Associate Professor, Department of Geo-physics, Russian State Geological Exploration University, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2930-2606>, e-mail: medvedev747@yandex.ru

Bekele A. Demissie, Master of Science (MSc.) in Construction, Post-graduate Student (PhD. Candidate) at the Department of Building Materials and Materials Science, Moscow state Uni-versity of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-7003>, email: aregabekalu@gmail.com

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 02.11.2020.

Revised: 28.11.2020.

Accepted: 03.12.2020.



Применение статистических методов для решения задач строительного материаловедения

А.Д. Жуков^{1,2,3} , Е.Ю. Боброва^{2*} , И.В. Бессонов³ , А.А. Медведев^{1,4} , Б.А. Демисси¹

¹ Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

³ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия

⁴ Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва, Россия

* Контакты: e-mail: mla-gasis@mail.ru

РЕЗЮМЕ: В областях науки, связанных со строительным материаловедением, наиболее перспективным для решения является комплекс вопросов, связанный с изучением влияния условий формирования структуры материала, в том числе и возможностей ее самоорганизации, на его свойства. Химико-физические аспекты этого влияния изучаются на микроуровне, с применением всего комплекса «тонких» исследований. При этом существуют методики, позволяющие оценить возможность возникновения наноэффектов в условиях экспериментов, реализуемых на макроуровне: на производстве или в лаборатории. Одной из подобных методик является методика, изложенная в статье. Основные положения методики сформированы на основе статистических методов проведения эксперимента и исследования технологических процессов. Эта методика позволяет значительно сократить количество проводимых опытов при сохранении адекватности полученных результатов и делает возможной дальнейшую аналитическую оптимизацию результатов и их инженерную интерпретацию. В частности с применением этой методики появляется возможность оценки совместного влияния варьируемых факторов на результат, что делает возможным выявление синергетических и антагонистических эффектов с последующей их проверкой на микроуровне с помощью исследования наноструктуры материалов.

В статье в качестве примера рассмотрена технология бетона, ориентированная на утилизацию бетонного лома в качестве заполнителя или наполнителя в строительных материалах различного назначения. Приводятся результаты научных исследований по разработке составов композиционного вяжущего на основе тонкомолотых отходов бетонного лома, минерального вяжущего, синтетических волокон и полимеров, отверждаемых в результате химического взаимодействия с компонентами бетонной смеси. Это вяжущее может быть использовано для изготовления различных стеновых элементов зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель, оптимизация, бетон, отходы, наноструктуры, композиционный материал, технология.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В., Медведев А.А., Демисси Б.А. Применение статистических методов для решения задач строительного материаловедения // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 313–319. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-313-319.

ВВЕДЕНИЕ

Создание эффективных материалов и оптимизация технологических процессов предполагает использование современных методологий как исследования условий формирования микроструктуры материала (в том числе и самоорганизующихся наноструктур), так и возможностей оценки его свойств посредством проведения экспериментов на произ-

водстве или в технологической лаборатории. Очевидным, но неявным фактором являются материальные и временные затраты на проведение экспериментов, положенных в основу создания материала или оптимизации его свойств [1–3].

Оптимизировать количество экспериментов, а следовательно, и расход материалов, энергии и затрат времени можно с использованием статистических методов организации и обработки результатов

эксперимента, математического моделирования и аналитической оптимизации получаемых результатов [4–5].

Математическое планирование эксперимента является важной составной частью решения технологических задач на ЭВМ для нахождения уравнений математических моделей технологических процессов или явлений. Корректный выбор модели или системы моделирования является, во многих случаях, основой для принятия правильных решений по реализации эксперимента как в плане достижения его результатов, так и в плане экономии затрат на его проведение. Существенны также способы организации и планирования многофакторного эксперимента: при построении неполных квадратичных и квадратичных математических моделей, с использованием полных и дробных факторных планов, соответствующим условиям оптимальности [6–8].

Получаемые в результате зависимости (уравнения регрессии или алгебраические полиномы) позволяют оценить влияние каждого из факторов на результат. В частности, применение подобных методик делает возможным оценку совместного влияния варьируемых факторов на результат [9–11]. Это позволяет оценить вероятность возникновения синергетических и антагонистических эффектов. Как показывает практика, именно подобные эффекты (эффекты от совместного влияния различных параметров процесса) и лежат в основе возникновения саморганизующихся наноструктур на микроуровне, проверка которых осуществляется уже с применением «тонких» методов исследования.

Получаемые модели и сформированная методология исследований вполне соответствуют приоритетам развития строительной отрасли, в том числе и рекомендуемому развитию цифровых технологий, формированию аналитических баз данных и компьютерной визуализации строительных процессов.

Использование цифровых методик позволяет значительно повысить надежность получения результатов в процессе и при обработке данных эксперимента, использовать статистические методики для оценки достоверности моделей и значимости влияний факторов и при этом значительно снизить материальные затраты на реализацию экспериментальных исследований. Это является пусть косвенным, но весьма значимым вкладом в повышение энергетической эффективности строительных технологий [12–14].

С другой стороны, оптимизация рецептов материала или процессов его изготовления также является формой повышения энергоэффективности и реализуется уже в прикладных задачах.

Примером подобной прикладной реализации разработанных методологий является их применение

к технологии бетона и, в частности, к утилизации отходов производства минеральных вяжущих, бетона, а также строительного лома. Необходимость утилизации подобных материалов следует, во-первых, из того, что любой отход бетонного производства содержит определенный (а точнее, неопределенный, но определяемый) процент непрореагировавшего портландцемента, а, во-вторых, необходимость сохранения подобного лома приводит к отчуждению значительных территорий, что отрицательно сказывается на экологических параметрах окружающей среды и снижает возможность полезного использования подобных территорий.

Мировой и отечественный опыт утилизации отходов свидетельствует о возможности использования бетонного лома в дорожных отсыпках, для нивелирования территорий или в качестве заполнителя или наполнителя в строительных материалах различного назначения [15–17]. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку методики подбора составов композиционного материала на основе тонкомолотых отходов бетонного лома, минерального вяжущего и суперпластификатора, осуществляемых с применением статистических методов.

Основой эксперимента, на примере которого рассматривается реализация статистических методов, стало предположение, что повышение прочности и стойкости бетонов может быть обеспечено за счет улучшения качества контактной зоны и применения полимеров, повышающих эластичность формирующихся контактов. Это достигается предварительной обработкой заполнителя комплексной добавкой, а также использованием полимер-полиуретановой группы, отверждаемых парами влаги, содержащимися в воздухе.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Методология эксперимента базируется на системном анализе, включающем следующие элементы:

- исследование технологии, процессов ее составляющих;
- изучение рецептов и составов композиций и сырьевых материалов;
- ситуационный анализ и выбор типа модели;
- разработка стратегии планирования эксперимента, выбор факторов, откликов и параметра оптимизации;
- проведение и обработка результатов эксперимента, а также проверка статистических гипотез;
- оптимизация результатов эксперимента;
- инженерная интерпретация результатов эксперимента.

За основу исследований принята методика НИУ МГСУ, в основу которой положено проведение эксперимента в три этапа с аналитической оценкой результатов (четвертый этап) [18, 19]. На первом этапе проводится комплексный анализ объекта исследований: технологии в целом или отдельные ее компоненты, в том числе связанные с решением рецептурных вопросов (подбором состава исходных композиций, например). Факторы влияния разделяют на две группы: детерминированные (значение может быть точно установлено для каждой ситуации) и варьируемые (изменение которых может быть оценено методами математической статистики).

На втором этапе осуществляется эксперимент (активный, пассивный или комбинированный), в котором задействованы все установленные варьируемые факторы. Факторы в эксперименте ($X_1, X_2, \dots, X_n$) используют в кодированном виде, то есть приведенными к интервалу $[-1, +1]$. Например, дробная реплика от полного трехфакторного эксперимента (2^3) позволяет оценить линейное влияние 7 факторов, а полного четырехфакторного эксперимента — линейное влияние 14 факторов.

Серии опытов реализуют по плану, матрица которого представляет собой дробную реплику неполного квадратичного уравнения более высокого порядка. При этом коэффициентам при смешанных взаимодействиях присваивается значение варьируемых факторов.

По факту проведения эксперимента и обработки его результатов получают уравнения регрессии, в которых влияние каждого фактора на результат оценивается по коэффициенту при $X_1, X_2, \dots, X_n$. В итоге определяют группу наиболее значимых факторов, имеющих наибольшие по абсолютному значению коэффициенты (как правило, от трех до пяти коэффициентов).

На третьем этапе проводят серии опытов, план которых построен на основе матрицы полного квадратичного 3...5 факторного эксперимента (по числу отобранных наиболее значимых факторов). Полученные уравнения регрессии проверяют по всем статистическим гипотезам и осуществляют проверку адекватности моделей по критерию Фишера. В результате статистических проверок в результате сравнения с доверительными интервалами (Δh) оставляют только значимые факторы, а в результате проверки по критерию Фишера делают вывод об адекватности (или неадекватности) полученных моделей.

На четвертом этапе осуществляется анализ полученных уравнений и оценка влияния варьируемых факторов на результат, аналитическая оптимизация уравнений регрессии и инженерная интерпретация результатов.

Оценка влияния каждого фактора на результат осуществляется по величине и знаку коэффициента,

стоящего перед фактором (его линейным значением или квадратичной функцией) или их парным взаимодействием. Необходимо отметить, что эксперимент проводится в кодированных значениях факторов (приведенных к интервалу $[-1, +1]$), поэтому коэффициенты при парных взаимодействиях позволяют делать вывод только о совместном влиянии этих факторов на результат и направлении этого влияния, а также возможности, но не о величине синергетических или антагонистических эффектов. Эти эффекты могут быть выявлены только при использовании натуральных значений факторов в уравнении регрессии.

Интерполяция результатов заключается в определении расчетным путем прочности и средней плотности материала в зависимости от значений варьируемых факторов и осуществляется путем реализации программ для ЭВМ. Такая программа включает блоки ввода данных (значений факторов в натуральном выражении), блок кодирования факторов, расчетный блок, блок вывода результатов на дисплей.

Оптимизация уравнений осуществляется аналитическим методом, который базируется на следующих положениях: полученные уравнения регрессии адекватно описывают изучаемый технологический процесс; каждое уравнение является алгебраической функцией нескольких переменных (по числу значимых варьируемых факторов), и для исследования этой функции применимы методы математического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам реализации первого и второго этапов, в качестве варьируемых факторов приняты расходы цемента, тонкомолотых отходов, отсева, пластификатора и армирующего компонента. Расход воды устанавливается в соответствии с В/Ц и не является независимым фактором. Функциями отклика приняты прочность бетона при сжатии (Y_1) и его средняя плотность (Y_2).

В качестве параметра оптимизации на третьем этапе проведения эксперимента принят коэффициент конструктивного качества бетона (ККК), равный отношению прочности при сжатии бетона (Y_1) к его средней плотности (Y_2):

$$\text{ККК} = (Y_1)/(Y_2).$$

Условия эксперимента третьего этапа представлены в табл. 1. Расход армирующего компонента принят постоянным и равен 1.0%.

Математическая обработка результатов эксперимента позволила получить уравнения регрессии для прочности при сжатии (Y_1) и средней плотности (Y_2). Значимость коэффициента проверялась по довери-

Таблица 1.

Интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Символ X_i	Среднее значение фактора, $\bar{X}_i$	Интервал варьирования, ΔX_i	Значения фактора на уровнях	
				–1	+1
Расход портландцемента, кг/м ³	X_1	450	50	400	500
Расход пластификатора, кг/м ³	X_2	2	0,5	1,5	2,5
Расход тонкомолотых отходов, кг/м ³	X_3	650	50	600	700

тельным интервалам, соответственно доверительный интервал для прочности составил $\Delta b_1 = 0.8$ МПа, а для средней плотности $\Delta b_2 = 3$ кг/м³.

Получены следующие математические модели (полиномы):

– для прочности при сжатии:

$$Y_1 = 32.7 + 3.7X_1 + 1.6X_2 + 1.9X_3 + 1.5X_1X_3 - 1.1X_2^2;$$

– для средней плотности:

$$Y_2 = 1930 + 52X_1 + 24X_2 + 32X_3 + 11X_1X_3 - 6X_2^2.$$

Полученные модели проверены на адекватности по критерию Фишера. Расчетные значения критериев Фишера равны для модели средней плотности $F_1 = 15,2$ и для модели прочности при сжатии $F_2 = 15,7$. Табличные же значения критериев, соответственно, равны 19,2 и 19,3. Рассчитанные значения F -критерия не превышают табличного, и с соответствующей доверительной вероятностью (98%) модель можно считать адекватной. Этот факт будет учтен при аналитической оптимизации математических моделей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ коэффициентов уравнения $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ показывает, что прочность композиционного вяжущего увеличивается при увеличении расходов портландцемента, пластификатора и тонкомолотого вторичного бетона в интервалах, принятых в эксперименте (положительные коэффициенты при X_1, X_2, X_3). При увеличении расходов полимера вначале имеет место рост прочности, а затем при больших расходах наблюдается снижение (коэффициенты при X_2 и X_2^2). Это позволяет предположить, что функция $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ имеет локальный экстремум по X_2 , и возможно применение аналитической оптимизации.

Анализ коэффициентов уравнения $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ показывает, что наибольшее влияние на увеличение плотности бетона оказывают увеличение расхода портландцемента и отсева (коэффициенты при X_1

и X_3). Увеличение расхода пластификатора способствует повышению плотности: сначала интенсивному, а при больших расходах — незначительному.

Для уравнений и прочности и средней плотности значимым является парное взаимодействие при X_1X_3 . Знак «плюс» при значении фактора парного взаимодействия позволяет предположить возможность наличия эффекта совместного усиления влияния на результат, обусловленного взаимодействием мелкодисперсных фаз вяжущего и вторичного бетона, содержащего в некотором количестве непрореагировавшие клинкерные минералы.

Рассматриваемая методика, в основу которой положена кибернетическая система, именуемая «черный ящик», ограничивается только внешними взаимодействиями и получением зависимостей, связывающих результат и варьируемые факторы, но не рассматривающая внутренние процессы, происходящие в подобных системах.

Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых показывают, что в подобных высокодисперсных системах могут проявляться эффекты за счет взаимодействия компонентов на микроуровне с созданием организованных структур. Если эффекты направлены на улучшение свойств материала, то целью «тонких» исследований является изучение возможности рецептурного или технологического усиления этих эффектов за счет формирования самоорганизующихся наноструктур, если эффект взаимодействия направлен на ухудшение свойств, то необходимы исследование минимизирующие, в данном случае, фактор отрицательного влияния. В этом случае уже является необходимым применение всего аппарата и методологии исследований наноструктур.

Можно сказать, что применение статистических методов выполняют функцию «ножниц» (или лезвия) Оккама, позволяющих отсечь лишнее на технологической стадии без обращения к «тонким» дорогостоящим исследованиям.

В частности, по данным экспериментов по модифицированному бетону с использованием отходов,

проведенных в технологической лаборатории установлено, что для прочности и средней плотности значимым является парное взаимодействие при X_1X_3 , что говорит о возможном синергетическом эффекте, обусловленном взаимодействием мелкодисперсных фаз вяжущего и отходов бетона, содержащего в некотором количестве непрореагировавшие клинкерные минералы. Соответственно направлениями дальнейшего научного поиска является изучение возможности формирования наноструктур при взаимодействии компонентов вяжущего и тонкомолотого вторичного бетона.

Анализ полинома, описывающего взаимосвязь между прочностью при сжатии и варьируемыми факторами, показывает, что эта функция (по своей сути являющаяся функцией нескольких переменных) по одной из этих переменных, а именно по расходу полимера (X_2), имеет локальный экстремум. Поэтому мы можем воспользоваться математическим аппаратом аналитической локальной оптимизации.

Аналитическая оптимизация основана на том, что функции для прочности и плотности $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ и $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ – математические, и к ним допустимо применение методов математического анализа при условии, что не будет нарушаться условие адекватности. В рассматриваемом случае принята следующая схема:

- уравнение $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ дифференцируют по X_2 и приравнивают к нулю, определяя экстремум функции Y_1 по X_2 ;
- решают функции $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ и $Y_2 = f_2(X_1, X_2, X_3)$ при $X_2 = \text{opt}$ и осуществляют локальную оптимизацию.

Аналитическая оптимизация включает следующую последовательность действий:

1) Определяем величину локального экстремума функции $Y_1 = f_1(X_1, X_2, X_3)$ по X_2 :

$$\partial Y_1 / \partial X_2 = 1.6 - 2.2X_2 = 0 \rightarrow X_2 = 1.6 / 2.2 = 0.73.$$

2) Рассчитываем величину натурального значения расхода пластификатора (соответствующего возможному получению максимальной прочности при сжатии полимербетона), используя формулу декодирования фактора:

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_2 + \Delta X_2 \cdot 0.73 = 2.0 + 0.5 \cdot 0.73 = 2.36 \pm 0.02 \text{ kg/m}^3.$$

3) Рассчитываем математические модели (полиномы) для оптимизированного значения фактора $X_2 = 0.73$:

- для прочности при сжатии: $Y_1 = 33.5 + 3.7X_1 + 1.6X_3 + 1.5X_1X_3$;
- для средней плотности: $Y_2 = 1944 + 52X_1 + 32X_3 + 11X_1X_3$.

Графическая интерпретация полученных зависимостей заключается в представлении полученных зависимостей $Y_1 = f_3(X_1, X_3)$ и $Y_2 = f_4(X_1, X_3)$ при оптимизированном значении X_2 в декартовой системе координат (X_1, X_3) и функции отклика в качестве изменяемого параметра: $X_1 = \varphi_1(X_3, Y_1)$ и $X_1 = \varphi_2(X_3, Y_2)$. Далее переходят от кодированных значений варьируемых факторов к натуральным значениям факторов.

Интерполяционные решения на всей области изменения расхода портландцемента и расхода тонкомолотых отходов (факторов X_1, X_3) при оптимизированном значении фактора X_2 (оптимальный расход пластификатора $2,36 \pm 0,02 \text{ кг/м}^3$) представлены графически (рис. 1) в виде номограммы.

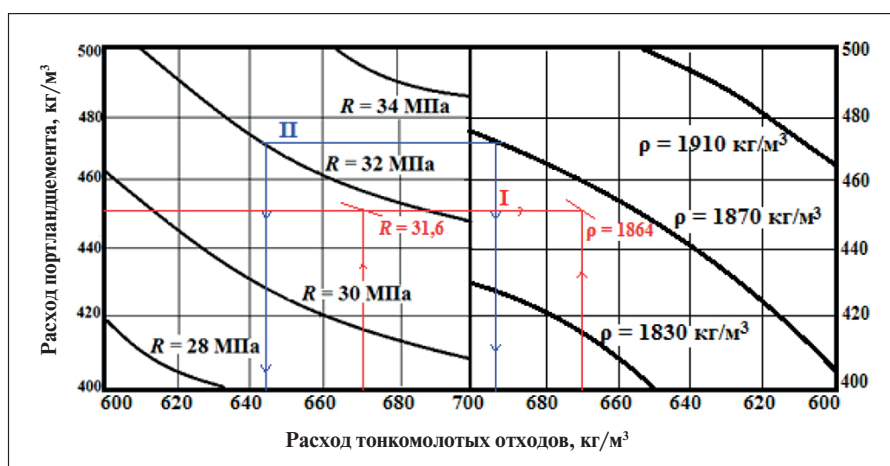


Рис. 1. Номограмма для оценки свойств бетона на основе отходов его по составу (пример I) и определения расхода портландцемента и тонкомолотых отходов для бетона с заданной прочностью и плотностью (пример II)

Номограмму можно использовать для прогнозирования свойств или подбора состава отделочного бетона, решая прямую (пример I) или обратную задачи (пример II).

Например, чтобы оценить свойства полимербетона с содержанием тонкомолотых отходов 670 кг/м^3 и расходом портландцемента 450 кг/м^3 , необходимо выполнить действия, показанные красной линией рис. 3 (пример I); прочность при сжатии ($R = 31,6 \text{ МПа}$) и среднюю плотность бетона ($\rho = 1864 \text{ кг/м}^3$) определяем интерполяцией. Чтобы получить расход компонентов полимербетона с задаваемыми прочностью при сжатии $R = 32 \text{ МПа}$ и средней плотностью 1870 кг/м^3 , необходимо выполнить действия, показанные синей линией на рис. 1 (пример II). Получаем расход портландцемента 472 кг/м^3 , а допустимый расход тонкомолотых отходов — 645 кг/м^3 . Далее осуществляем контрольные замесы и проверяем экспериментальным путем полученные расчетные данные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Применение статистических методов, методология планирования и обработки результатов эксперимента позволяет получать математические зависимости (модели) и предполагает проверку как основных статистических гипотез, так и значимости коэффициентов и эффектов от их парных взаимодействий и таким образом делает возможным прогнозирование дальнейших исследований на всех уровнях.

Если эффекты направлены на улучшение свойств материала, то целью исследований следующего этапа является изучение возможности рецептурного или технологического усиления этих эффектов за счет формирования самоорганизующихся наноструктур. Если эффект взаимодействия направлен на ухудшение

свойств, то необходимы исследования, минимизирующие, в данном случае, фактор отрицательного влияния. В этом случае является необходимым применение всего аппарата и методологии исследований самоорганизующихся наноструктур, взаимодействия на уровне которых и могут являться причиной выявленных макроэффектов.

Если системы высокодисперсные, то в таких системах могут проявляться эффекты за счет взаимодействия компонентов на микроуровне с созданием организованных структур. По данным экспериментов по модифицированному бетону с использованием отходов, проведенных в технологической лаборатории, установлено, что для прочности и средней плотности значимым является парное взаимодействие, что говорит о возможном синергетическом эффекте, обусловленном взаимодействием мелкодисперсных фаз вяжущего и отходов бетона, содержащего в некотором количестве непрореагировавшие клинкерные минералы. Соответственно направлением дальнейшего научного поиска является изучение возможности формирования наноструктур при взаимодействии компонентов вяжущего и тонкомолотого вторичного бетона.

Изложенная в статье методология эксперимента опробована при анализе технологий и подбору рецептур различных строительных материалов, в том числе вяжущих и бетонов на основе вторичных продуктов и отходов, получаемых в результате реновации выведенных из жилого фонда объектов. Получаемые результаты и формируемые при этом базы данных вполне соответствуют рекомендациям по цифровизации строительных технологий.

Результаты научных исследований по разработке составов композиционного вяжущего позволяют сформировать основы подбора его состава композиционного вяжущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд. / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. — М.: Наука, 1976. — 280 с.
2. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 192 с.
3. Румянцев Б.М. Эксперимент и моделирование при создании новых изоляционных и отделочных материалов [Электронный ресурс]: монография / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 156 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23755>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю ISBN: 978-5-7264-0700-5.
4. Жуков А.Д., Чугунков А.В. Локальная аналитическая оптимизация технологических процессов // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1–2. — С. 273–278.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир. — 1982. — 235 с.
6. Жуков А.Д. Технологическое моделирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / Жуков А.Д. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 204 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20041>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю ISBN: 978-5-7264-0780-7.

7. Хартман К. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. — Пер. с англ. — М.: Мир, 1977. — 544 с.
8. Жуков А.Д. Решение технологических задач методами математического моделирования / А.Д. Жуков, А.В. Чугунков, В.А. Рудницкая. — Монография. — М.: Изд. МГСУ, 2011. — 176 с.
9. Писаренко Ж.В., Иванов Л.А., Ванг Ц. Нанотехнологии в строительстве: современное состояние и тенденции развития // Нанотехнологии в строительстве. — 2020. — Том 12, № 4. — С. 223–231. — DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231).
10. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete — A review. Construction and Building Materials. 2010. V. 24. Pp. 2060–2071. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014).
11. Velichko E., Shokodko E. Reactive powder concrete based on multicomponent cement systems with multilevel optimization of the disperse composition. MATEC Web of Conferences 251, 01042 (2018). DOI: [10.1051/mateconf/201825101042](https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101042).
12. Муртазаев С.-А.Ю. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья: научное издание / С.-А.Ю. Муртазаев, Д.К.-С. Батаев, З.Х. Исмаилова. — М.: Комтехпринт, 2017. — 142 с.
13. Мешков П.И., Мокин В.А. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей // Строительные материалы. — 2000. — № 5. — С. 12–14.
14. Жуков А.Д. Практикум по технологическому моделированию [Электронный ресурс]: учебное пособие / Жуков А.Д., Смирнова Т.В., Гудков П.К. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 168 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30351>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю ISBN: 978-5-7264-0903-0.
15. Zhukov A., Shokodko E., Bobrova E., Bessonov I., Dosanova G., Ushakov N. (2019) Interior Acoustic Materials and Systems // EMMFT-2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 983. Springer, Cham.pp. 740–747. DOI: [10.1007/978-3-030-19868-8_72](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8_72).
16. Ефименко А.З., Пилипенко А.С. Получение декоративных отделочных материалов для фасадных систем на заполнителях из бетонных отходов // Вестник МГСУ. — 2009. — Специальный выпуск. — С. 100–103.
17. Горбунов Г.И. Научные основы формирования структуры и свойств строительных материалов [Электронный ресурс]: монография / Г.И. Горбунов, А.Д. Жуков. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. — 555 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49870>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю ISBN: 978-5-7264-1318-1.
18. Zhukov A., Shokodko E. (2020) Mathematical Methods for Optimizing the Technologies of Building Materials // VII International Scientific Siberian Transport Forum. Trans Siberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, V. 1116. Pp. 413–421. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-37919-3_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_40).
19. Bessonov I., Zhukov A., Shokodko E., Chernov A. Optimization of the technology for the production of foam glass aggregate // TPACEE 2019, E3S Web of Conferences. Vol. 164, 14016 (2020). Published on-line: 05 May 2020. DOI: [10.1051/e3sconf/202016414016](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016414016).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жуков Алексей Дмитриевич, доцент, к.т.н., доцент кафедры Строительных материалов и материаловедения НИУ МГСУ, ведущий научный сотрудник НИИ строительной физики (НИИСФ РААСН), заместитель директора НОЦ комплексной модернизации инфраструктуры ЖКХ института ГАСИС НИУ ВШЭ, член-корреспондент Российской инженерной академии (РИА), г. Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0593-3259>, e-mail: lj211@yandex.ru

Боброва Екатерина Юрьевна, к.э.н., советник директора Института строительства и жилищно-коммунального хозяйства Государственной академии специалистов инвестиционной сферы Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6541-4552>, e-mail: mla-gasis@mail.ru

Бессонов Игорь Вячеславович, к.т.н., главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), г. Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9234-4075>, e-mail: bessonoviv@mail.ru

Медведев Андрей Александрович, доцент, к.т.н., доцент кафедры прикладной математики НИУ МГСУ, доцент кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета, г. Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2930-2606>, e-mail: medvedev747@yandex.ru

Демисси Бекеле Арега, магистр строительства, аспирант кафедры Строительных материалов и материаловедения НИУ МГСУ, г. Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-7003>, e-mail: aregabekalu@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 02.11.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 28.11.2020.

Статья принята к публикации: 03.12.2020.



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

I.N. Vikhareva* , I.I. Zaripov , D.F. Kinzyabulatova , N.S. Minigazimov, G.K. Aminova

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

* **Contacts:** 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 accumulation of a significant amount of waste on its basis. In this regard, a new approach to the development of these materials has been 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 is solved: 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, as well 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: Vikhareva I.N., Zaripov I.I., Kinzyabulatova D.F., Minigazimov N.S., Aminova G.K. Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part I. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(6): 320–325. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-320-325.

INTRODUCTION

The global environmental problem of our time is the accumulation of wastes of polymer materials in the biosphere. Worldwide, nearly 380 million tons of plastics are produced annually [1]. About 9% is recycled, about 12% of polymer waste is incinerated [2–4]. The remaining 79% end up in landfills that occupy huge areas and remove millions of hectares of fertile land from agricultural circulation.

The problem is compounded by the fact that, due to improper burial, almost 12 million tons of plastic are carried annually by rivers into the seas and oceans [5]. As a result, the Pacific Ocean formed the Great Pacific

Garbage patch, the area of which, according to experts, is about 1.5 million square kilometers.

There are two main areas of solution: disposal of plastic waste and creation of biodegradable plastics [6–8].

The main ways to reduce the volume of synthetic plastic waste are incineration and recycling [9–11]. However, burning does not fundamentally improve the environmental situation. Moreover, the combustion of polymeric materials is an expensive process accompanied by the release of highly toxic contaminants (dioxins, furans, etc.) [12–15]. The processing of polymer wastes results in a higher cost of the material, while the quality of the obtained polymer decreases [13–18].

The development of new technologies aimed at the production of environmentally sound materials and

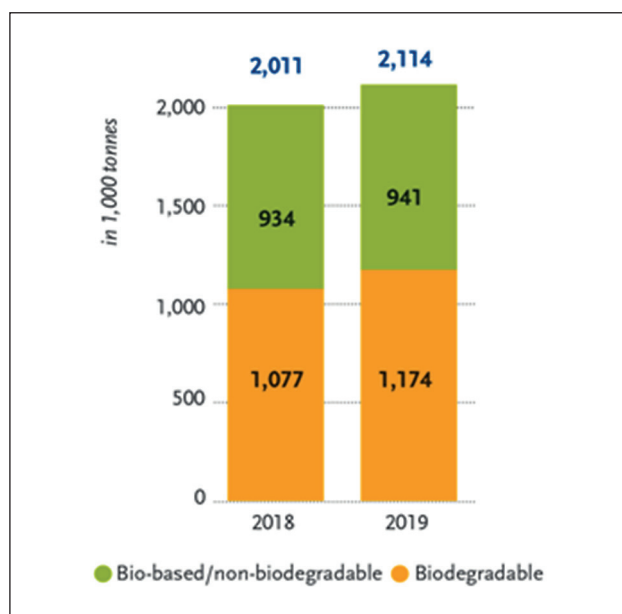


Fig. 1. Production capacity of bioplastics in 2018–2019, thousand tons

Source: European Bioplastics Institute

excluding emissions of pollutants, as well as integrated waste treatment, are consistent with the concept of environmentally sound sustainable development of human activities adopted by the UN at the Conference on Environment and Development back in 1992 [19–20].

Giving traditional polymers the ability to biodegrade under the influence of microorganisms and natural-climatic factors will significantly reduce the volume of poly-

mer waste and, thereby, improve the environmental situation.

The optimal solution is the development of self-destructing polymer materials, especially for products with a short life cycle (packaging materials, disposable utensils, pens, razors, transport pallets), which must maintain technological characteristics during storage and operation, after which, under the action of certain factors (microorganisms, light, oxygen air, water), must decompose in a short period of time.

Existing biodegradable bio-based polymers are more expensive than synthetic polymers [21–22]. Therefore, biodegradable polymeric materials are mainly obtained by mixing thermoplastic synthetic polymers and biodegradable fillers of natural origin.

Currently, the production and consumption of bioplastics is only about 1% of the total amount of PM [23]. As demand and applications grow and new more complex biopolymers emerge, the bioplastics market grows and diversifies.

According to the latest data from the European Bioplastics Institute (European Bioplastics) and the nova-Institute Research Institute (Hürth, Germany), the global production capacity for the production of bioplastics in 2019 amounted to 2,114 million tons (Fig. 1) [23].

The main applications in the bioplastics consumption market are constantly changing. However, packaging remains the largest field of application of bioplastics, in 2019 it accounted for more than 53% (1.14 million tons) of the entire bioplastics market [23]. Segments, such as automotive/transport and construction, significantly increased their share in 2019 (Fig. 2).

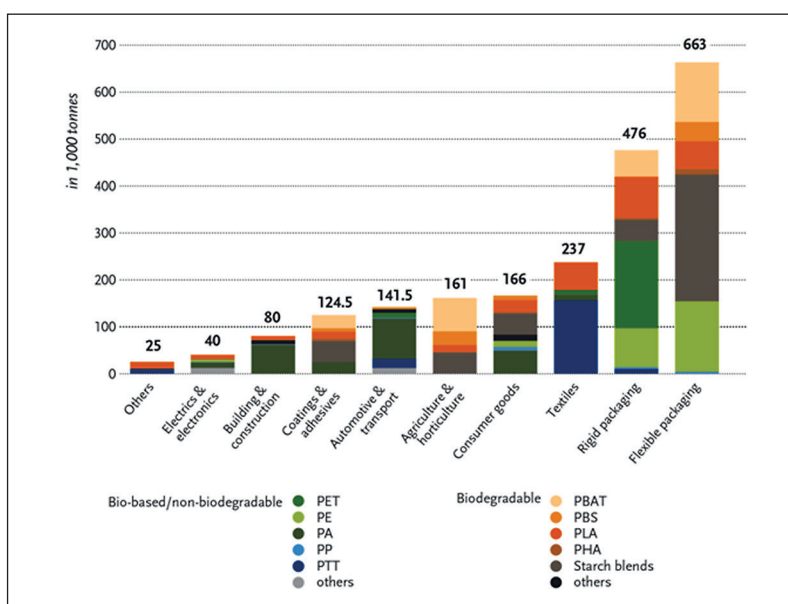


Fig. 2. Production capacity of bioplastics by application industry in 2019, thousand tons

Source: European Bioplastics Institute

Table 1

Major producers of biodegradable PM

№	Producer	Product Name and Application
1	Archer Daniel Midland Co. (USA)	Poly lactides, polyhydroxybutyrates
2	BASF AG (Germany)	Polyesters of Butane-1,4-diol, terephthalic and adipic acids Ecoflex, Eastar Bio, additives for the production of biodegradable plastics
3	BAYER AG (Germany)	Polyester amides BAK – thermoplastic polymer, like conventional thermoplastics for injection molding, extrusion, fiber production
4	Biotec Gmb H. (Germany)	Starch filled plastics “Bioplast” for compost bags, dishes, forks, spoons, cups
5	Cargill Inc. (USA)	Poly lactides Eco-PLA for injection molding, thermoforming, production of nonwoven fabric
6	Chronopol (USA)	Synthesis of polylactic acid
7	CSM N.V. / Cargill Inc. (Holland)	Poly lactides
8	DAICEL Chem. Ind. Ltd (Japan)	Composites based on polylactide, cellulose acetate
9	Du Pont Co. (USA)	Poly lactides from milk, cheese and corn ECO Chem., Copolymer with polyester – Biomax
10	Ecolean (Sweden)	Packaging and equipment for filling liquid food products into branded “jugs”
13	EPI Environmental Technologies Inc.	Raw materials for the production of oxo-biodegradable packaging
14	GREENSAN LIMITED Srls (Italy)	Compostable packaging for food and industrial products
15	Hoechst Trespaphan (Germany)	Biophan Poly- α -Hydroxypropionates for Film Materials
16	Kanebo (Japan)	Bellfree, Lacton poly- α -hydroxypropionates for granules, threads, film materials
17	Mitsubishi Plastics (Japan)	Ecoloju Poly- α -Hydroxypropionates for Film Materials
18	Mitsui Chemicals (Japan)	Lacea poly- α -hydroxypropionates for granules, film materials
19	Mitsui Toatsu Chem. Ltd (Japan)	Products based on starch and polylactide
20	Monsanto Co. (Italy) / ICI. Zeneto Ltd (Great Britain)	Copolymer polyhydroxybutyrate-valerate for the production of bottles, toothbrushes
21	Nature Works (USA)	Ingeo™ polymers for products from coffee capsules and electronics to diapers and napkins. Vercet™ lactides for CASE products (coatings, adhesives, sealants and elastomers), toners and surfactants
22	NESTLE OY Chem. / Pri-malco (Finland)	Poly lactides and starchy plastics
23	Novamont (Italy)	Produces “Mater Bi” for injection molding, obtaining films from starch
24	Planet Polymer / Nippon Mitsubishi (Japan)	20 types of Enviro Plastics water soluble, compostable, photodegradable injection molding resins, Aquarbo – polyvinyl alcohol for medical blown films, waste vessels
25	Procter & Gamble (France)	Nodax polyhydroxyalkanoates for nonwovens, films and fibrous materials
26	Roquette (France)	More than 650 by-products from corn, wheat, potato and pea starch
27	Rohm and Haas Co. (USA)	Polyaspartates, water-soluble dispersants, biodegradable dispersants for washing powders
28	Shell Chem. Co. (Great Britain)	Several biodegradable polyesters
29	Shimodzu Co. (Japan)	Transparent, colorless improved Lacty polylactides for injection molding
30	Silbo (Poland)	Cellulose packaging, new bio-compostable packaging standards
31	Showa Denko (Japan)	Bionolle special aliphatic polyesters, polybutylene / succinate and polybutylene / succinate / adipate copolymers
32	Solvay S. A. (Belgium)	Poly lactides for a wide variety of applications
33	Sukano (Switzerland)	Masterbatches of additives and colorants for biodegradable polymers PLA and PBS
34	Sunkyoung Ltd. (Korea)	Aliphatic polyesters Sky Green
35	Total Corbion PLA (Netherlands)	Luminy® PLA polylactic acid (PLA) and lactide monomers are high temperature and standard grades for a wide range from packaging to consumer products, fibers and automobiles
36	Union Carbide Corp. (USA)	Major supplier of high molecular weight polylactides for the production of films and sacks for food waste, also high molecular weight, water-soluble and biodegradable polyester Polyox

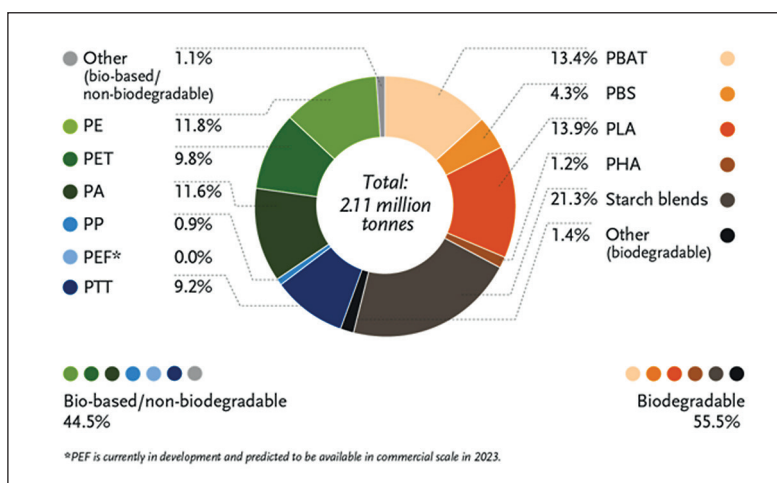


Fig. 3. Production capacity of bioplastics by type in 2019, thousand tons
Source: European Bioplastics Institute

Currently, non-biodegradable bio-based plastics account for up to 44.5% of the total bioplastics produced (Fig. 3) [23].

In 2019, bio-based innovative polypropylene entered the market on a commercial scale. PHA (polyhydroxy-alkanoates) is the most developing class of polymers, completely obtained from biomaterial and biodegradable, has a wide range of physical and mechanical properties depending on their chemical composition. PEF* (polyethylene furanoate) is a new polymer, which is expected to enter the market in 2023 [23].

Asian countries are leading as a major hub of the entire bioplastics industry. In 2019, 45% of the total bioplastics were produced there (Fig. 4) [23].

Initially, biodegradable PM was a mixture of conventional polymers with starch. Now a whole spectrum of new biodegradable plastics has appeared, differing in production technologies and composition (Table 1).

Among domestic manufacturers of biodegradable polymer products, the following can be distinguished [24]:

- 1) LLC “Company EuroBalt”, which launched the production of oxo-biodegradable packaging in 2008;
- 2) JSC “TIKO-Plastik”, producing biodegradable bags with a catalyst additive;
- 3) DAR PF, certified in October 2009 for production of biodegradable packages;
- 4) LLC “Artplast”, which began production of biodegradable packaging in June 2010;
- 5) LLC “Biaxplen”, which launched in 2008 a line capable of producing biodegradable packaging from bio-raw materials (potatoes, corn, etc. — bio-materials with a high starch content);
- 6) CJSC National Packaging Company “PAGODA”, which has biodegradable bags in its range;
- 7) RT-Khimkompozit has developed the production of biodegradable plastics based on lactic acid. The essence

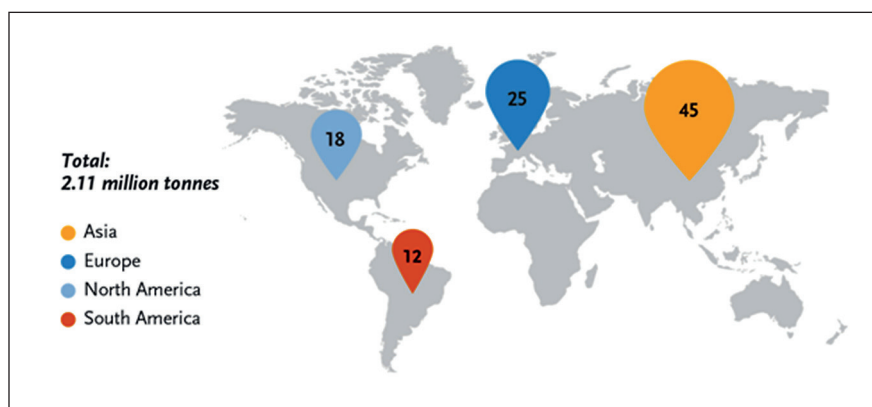


Fig. 4. Production capacity of bioplastics by region in 2019, %
Source: European Bioplastics Institute

of this process is the synthesis of monomers by bacteria from available sugars, the decomposition period during composting is from 20 to 90 days.

Thus, the need for compostable bioplastics is growing, as evidenced by the increase in the number of manufacturers of such materials and products based on them. Natural polymers have high biodegradability, biocompatibility and safety. On the other hand, the use of synthetic materials is due to the fact that they can be adapted to obtain the necessary characteristics by using various

manufacturing technologies to reproduce the molecular structure and change mechanical properties depending on needs.

The task of the latest developments in the field of compostable bioplastics is to establish general patterns in the selection of components and technological parameters for the production of materials that combine a high level of operational characteristics with biodegradability, and basic rules for regulating the speed of their safe degradation at the end of service life.

REFERENCES

1. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 2017; 3(7): e1700782. Available from: [doi: 10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782).
2. Volkova A.V. *Waste disposal market*. National Research University Higher School of Economics; 2018.
3. Shishonok M. Modern polymeric materials. Higher School. 2017, 278 p.
4. Potapova E.V. Problem of utilization of plastic waste. *Bulletin of the Baikal State University*. 2018; 28(4): 535–544. Available from: [doi: 10.17150/2500-2759](https://doi.org/10.17150/2500-2759).
5. Van Sebille E. et al. The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environ. Res. Lett.* 2020; 15(2): 023003.
6. Pipia L.K., Elkin A.G. Plastics recycling: market assessment and perspectives. *Science abroad*. 2018; 1–33.
7. Potapova E.V. The problem of recycling plastic waste. *Bulletin of the Baikal State University*. 2018; 28(4): 535–544. Available from: [doi: 10.17150/2500-2759](https://doi.org/10.17150/2500-2759).
8. Rzyayev K.V. Recycling of plastic waste in Russia. *Solid household waste*. 2017; 1: 7–9.
9. Buzova O.V., Novikova V.O. Recycling of plastic waste. *Agency for International Research*. 2017; 134–136.
10. Petrov A.V., Doriomedov M.S., Skripachev S.Yu. Utilization technologies for polymer composite materials (review). *Proceedings of VIAM*. 2015; 8: 62–73. Available from: [doi: 10.15593/24111678/2017.04.08](https://doi.org/10.15593/24111678/2017.04.08).
11. Niaounakis M. *Recycling of flexible plastic packaging*. Elsevier; 2020.
12. Madalina E.G. Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. *Recycling*. 2017; 2(24): 1–11.
13. Mehdi Sadat-Shojai, Gholam-Reza Bakhshandeh. Recycling of PVC wastes. *Polymer Degradation and Stability*. 2011; 404–415. Available from: [doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.001](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.001).
14. Hazrat M.A., Rasul M.G, Khan M.M. K. A study of Thermo-Catalytic Degradation for Production of Clean Transport Fuel and Recycling Plastic Wastes. *Procedia Engineering*. 2015; 105: 865–876. Available from: [doi: 10.1016/j.proeng.2015.05.108](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.108).
15. Ragart K., Delva L., Kevin V. G. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*. 2017; 69: 24–58. Available from: [doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044).
16. Palyga R.B. Potential possibilities of polymer recycling. *Solid household waste*. 2017; 1 (127): 26–29.
17. Prokopchuk N.R., Manulenko A.F., Evsey A.V. Some features of recycling and regulation of the properties of secondary polyvinyl chloride. *Proceedings of BSTU*. No. 4. Chemistry, technology of organic matter and biotechnology. 2010; 4: 112–114.
18. Davydova V.N., Lukasik V.A., Solovyov Yu.V. *Recycling of thermoplastics and thermosets*. Volgograd: VolgGTU; 2014.
19. *Rio Declaration on environment and development*. June 14, 1992. Available from: <http://www.wno.org/rio-declaration-on-environment-and-development>.
20. Tappel L.J., Nomura R.C., Christopher T. Mini-Review: Biosynthesis of Poly (hydroxyalkanoates). *Polymer Reviews*. 2009; 49(3): 226–248. Available from: [doi: 10.1080/15583720903048243](https://doi.org/10.1080/15583720903048243).
21. Kim Y.B., Lenz R.W. Polyesters from microorganisms. *Advances in Biochemical Engineering. Biotechnology*. 2001; 71: 51–79. Available from: [doi: 10.1007/3-540-40021-4_2](https://doi.org/10.1007/3-540-40021-4_2).
22. Hong Chua. Accumulation of biopolymers in activated sludge biomass. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1999; 78(1–3): 389–399. Available from: [doi: 10.1385/ABAB:78:1-3:389](https://doi.org/10.1385/ABAB:78:1-3:389).

23. Market data on bioplastics. *European bioplastics*. Available from: <https://www.european-bioplastics.org/market/> (03.02.2015).

24. Parmukhina E.L. Russian market of biodegradable packaging. *Ecological Bulletin of Russia; Research company RESEARCH.TECHART*. 2011; 2: 32–33.

The paper «Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part II» will be published in the journal «Nanotechnologies in Construction» N 1/ 2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Ilmar I. Zaripov, Undergraduate, Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2594-3753>, e-mail: ilmar.zaripov1998@mail.ru

Diana F. Kinzyabulatova, Student, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-9269>, e-mail: dinkin567890@yandex.ru

Nail S. Minigazimov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Environmental Protection and Natural Resources Management, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, e-mail: oosripr@rusoil.net

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

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 15.10.2020.

Revised: 26.11.2020.

Accepted: 29.11.2020.



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

И.Н. Вихарева* , И.И. Зарипов , Д.Ф. Кинзябулатова , Н.С. Миниغازимов, Г.К. Аминова

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: биodeградация, биоразлагаемые добавки, нефтехимическое сырье, полимеры, пластификаторы, растительные источники.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Вихарева И.Н., Зарипов И.И., Кинзябулатова Д.Ф., Миниغازимов Н.С., Аминова Г.К. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 320–325. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-320-325.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальной экологической проблемой современности является накопление отходов полимерных материалов, аккумулируемых в биосфере. Во всем мире ежегодно производится почти 380 миллионов тонн пластмассы [1]. Вторичной переработке подвергается около 9%, сжигается около 12% полимерных отходов [2–4]. Оставшиеся 79% оказываются на свалках, занимающих огромные

площади и выводящих из сельскохозяйственного оборота миллионы гектаров плодородной земли.

Проблема усугубляется еще и тем, что из-за неправильного захоронения почти 12 миллионов тонн пластмассы ежегодно выносятся реками в моря и океаны [5]. В результате чего в Тихом океане образовалось Большое тихоокеанское мусорное пятно, площадь которого по оценкам специалистов составляет около 1,5 миллиона кв. км.

Существуют два основных направления решения данной проблемы: утилизация отходов пластмасс и создание биоразлагаемых пластиков [6–8].

Основные способы сокращения объемов синтетических пластиковых отходов — это сжигание и переработка [9–11]. Однако сжигание кардинально не улучшает экологическую ситуацию. Более того, сжигание полимерных материалов — это дорогостоящий процесс, сопровождающийся выделением высокотоксичных загрязнений (диоксинов, фуранов и др.) [12–15]. Переработка полимерных отходов приводит к удорожанию материала, при этом качество полученного полимера снижается [13–18].

Разработка новых технологий, ориентированных на производство экологически чистых материалов и исключающих выбросы загрязняющих веществ, а также комплексная переработка отходов соответствуют концепции экологически безопасного устойчивого развития деятельности человека, принятой ООН на Конференции по окружающей среде и развитию еще в 1992 г. [19–20].

Придание традиционным полимерам способности к биodeградации под действием микроорганизмов и природно-климатических факторов позволит значительно сократить объемы полимерных отходов и, тем самым, улучшить экологическую обстановку.

Оптимальным решением является разработка саморазрушающихся полимерных материалов, в особенности, для изделий с коротким жизненным циклом (упаковочные материалы, одноразовая посуда, авторучки, бритвы, транспортные паллеты), которые должны сохранять технологические характеристики при хранении и эксплуатации, после чего при дей-

ствии определенных факторов (микроорганизмов, света, кислорода воздуха, воды) должны разлагаться за небольшой промежуток времени.

Существующие биоразлагаемые полимеры на биооснове дороже синтетических полимеров [21–22]. Поэтому биоразлагаемые полимерные материалы в основном получают смешением термопластичных синтетических полимеров и биоразлагаемых наполнителей природного происхождения.

В настоящее время производство и потребление биопластиков составляет только около 1% от общего количества ПМ [23]. По мере роста спроса и сфер применения, а также благодаря появлению новых более сложных биополимеров рынок биопластиков постоянно растет и диверсифицируется.

Согласно последним данным Европейского института биопластиков (European Bioplastics) и научно-исследовательского института nova-Institute (Хюрт, Германия) глобальные производственные мощности по производству биопластиков в 2019 году составили 2,114 миллиона тонн (рис. 1) [23].

Основные приложения на рынке потребления биопластиков постоянно изменяются. Однако упаковка остается крупнейшей областью применения биопластиков, на ее долю в 2019 году пришлось более 53% (1,14 миллиона тонн) всего рынка биопластиков [23]. Сегменты, такие как автомобилестроение/транспорт и строительство, в 2019 году значительно увеличили свою долю (рис. 2).

В настоящее время неподдающиеся биологическому разложению пластмассы на биооснове составляют до 44,5% от общего количества выпускаемых биопластиков (рис. 3) [23].

В 2019 году инновационный полипропилен на биооснове вышел на рынок в коммерческих масштабах. ПГА (полигидроксикапроаты, ПГА) — это наиболее развивающийся класс полимеров, полностью полученный из биоматериала и биоразлагаемый, обладает широким спектром физических и механических свойств в зависимости от их химического состава. РЕФ* (полиэтиленфураноат) — новый полимер, выход которого на рынок ожидается в 2023 году [23].

Страны Азии лидируют в качестве крупного центра всей индустрии биопластиков. В 2019 году там было произведено 45% от общего количества биопластиков (рис. 4) [23].

Первоначально биоразлагаемые ПМ представляли собой смеси традиционных полимеров с крахмалом. Сейчас появился целый спектр новых биоразлагаемых пластиков, различающихся технологиями получения и составом (табл. 1).

Среди отечественных производителей биоразлагаемой полимерной продукции можно выделить следующие [24]:

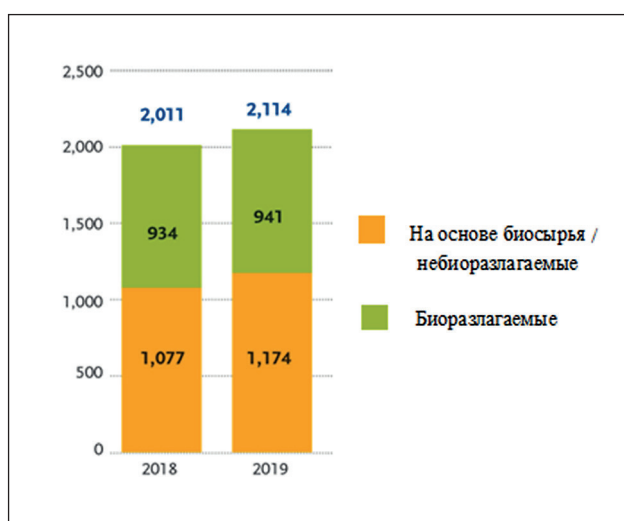


Рис. 1. Производственные мощности биопластиков в 2018–2019 гг., тыс. тонн

Источник: Европейский институт биопластиков

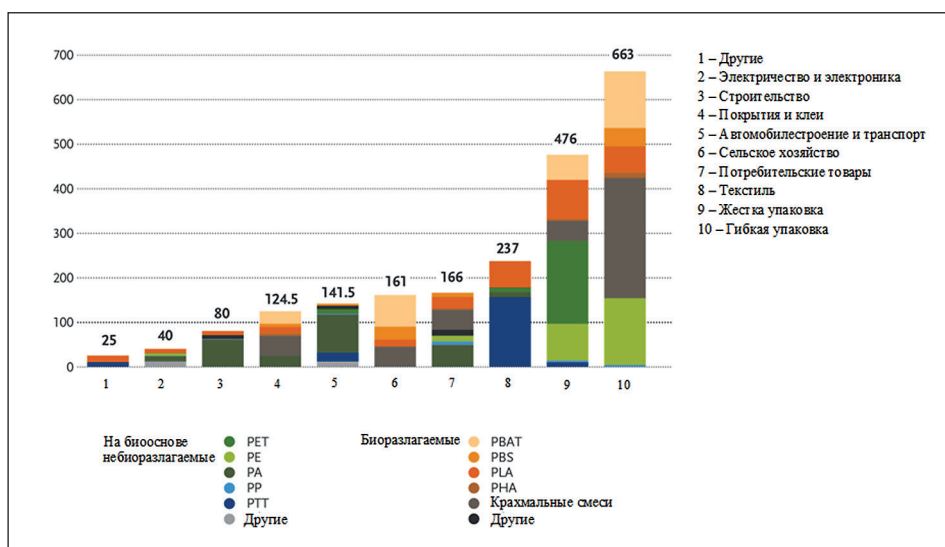


Рис. 2. Производственные мощности биопластиков по отраслям применения в 2019 г., тыс. тонн

Источник: Европейский институт биопластиков

1) ООО «Компания ЕвроБалт», запустившая в 2008 году производство оксо-биоразлагаемой упаковки;

2) ЗАО «ТИКО-Пластик», выпускающая биоразлагаемые пакеты с добавкой-катализатором;

3) ПФ ДАР, прошедшая в октябре 2009 года сертификацию на производство пакетов с биодобавкой;

4) ООО «Артпласт», приступившая в июне 2010 года к выпуску биоразлагаемой упаковки;

5) ООО «Биакспен», запустившая в 2008 году линию, способную производить биоразлагаемую

упаковку из биосырья (картофель, кукуруза и пр. – биоматериалы с высоким содержанием крахмала);

6) ЗАО Национальная упаковочная компания «Пагода», имеющая в своем ассортименте биоразлагаемые пакеты;

7) Компания РТ-Химкомпозит разработала производство биоразлагаемых пластиков на базе молочной кислоты. Суть этого процесса – синтезирование бактериями из доступных сахаров мономеров, период распада при компостировании от 20 до 90 дней.

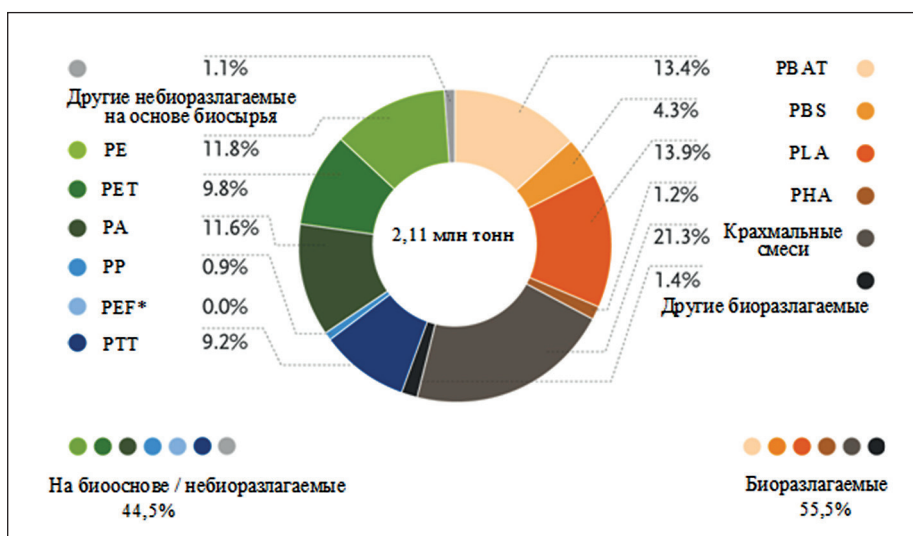


Рис. 3. Производственные мощности биопластиков по типам в 2019 г., тыс. тонн

Источник: Европейский институт биопластиков

Таблица 1

Основные производители биоразлагаемых ПМ

№	Производитель	Название продукции и применение
1	Archer Daniel Midland Co. (США)	Полилактиды, полигидроксibuтираты
2	BASF AG (Германия)	Полиэфир бутан-1,4-диола, терефталевой и адипиновой кислот Ecolflex, Eastar Bio, добавки для производства биоразлагаемых пластиков
3	BAYER AG (Германия)	Полиэфирамиды ВАР – термопластичный полимер, как обычные термопласты для литья под давлением, экструзией, получения волокон
4	Biotec Gmb H. (Германия)	Крахмалонаполненные пластики «Биопласт» для мешков под компост, посуду, вилки, ложки, чашки
5	Cargill Inc. (США)	Полилактиды Eco-PLA для литья под давлением, термоформования, получения нетканого полотна
6	Chronopol (США)	Синтез полимолочной кислоты
7	CSM N.V. / Cargill Inc. (Голландия)	Полилактиды
8	DAICEL Chem. Ind. Ltd (Япония)	Композиты на основе полилактида, ацетата целлюлозы
9	Du Pont Co. (США)	Полилактиды из молока, сыра и кукурузы ECO Chem., сополимер с полиэфиром – Biomax
10	Ecolean (Швеция)	Упаковка и оборудование для розлива жидких пищевых продуктов в фирменные «кувшинчики»
13	EPI Environmental Technologies Inc.	Сырье для производства оксо-биоразлагаемой упаковки
14	GREENSAN LIMITED Srls (Италия)	Компостируемая упаковка для пищевых и промышленных продуктов
15	Hoechst Trespaphan (Германия)	Поли-α-гидроксипропионаты Biophan для пленочных материалов
16	Kanebo (Япония)	Поли-α-гидроксипропионаты Bellfree, Lacton для гранул, нитей, пленочных материалов
17	Mitsubishi Plastics (Япония)	Поли-α-гидроксипропионаты Ecoloji для пленочных материалов
18	Mitsui Chemicals (Япония)	Поли-α-гидроксипропионаты Lasea для гранул, пленочных материалов
19	Mitsui Toatsu Chem. Ltd (Япония)	Продукция на основе крахмала и полилактида
20	Monsanto Co. (Италия) / ICI. Zeneto Ltd (Англия)	Сополимер полигидроксibuтиратвалерат для производства бутылок, зубных щеток
21	Nature Works (США)	Полимеры Ingeo™ для продукции от кофейных капсул и электроники до подгузников и салфеток. Лактиды Vercet™ для продуктов линии CASE (покрытия, клеи, герметики и эластомеры), тонеры и поверхностно-активные вещества
22	NESTLE OY Chem. / Primalco (Финляндия)	Полилактиды и крахмалосодержащие пластики
23	Novamont (Италия)	Выпускает «Mater Bi» для литья под давлением, получения пленок из крахмала
24	Planet Polymer / Nippon Mitsubishi (Япония)	20 типов Enviro Plastics водорастворимых, компостируемых, фоторазлагаемых полимеров для литья под давлением, Aquarbo – поливиниловый спирт для пленок с раздувом для медицины, сосудов для отходов
25	Procter & Gamble (Франция)	Полигидроксипропионаты Nodax для нетканых, пленочных и волокнистых материалов
26	Roquette (Франция)	Более 650 побочных продуктов из крахмала кукурузы, пшеницы, картофеля и гороха
	Shell Chem. Co. (Great Britain)	Several biodegradable polyesters
27	Rohm and Haas Co. (США)	Полиаспартаты, водорастворимые диспергаторы, биоразлагаемые диспергаторы для стиральных порошков
28	Shell Chem. Co. (Великобритания)	Несколько биоразлагаемых полиэфиров
29	Shimodzu Co. (Япония)	Прозрачные, бесцветные улучшенные полилактиды Lactu для литья под давлением
30	Silbo (Польша)	Упаковка с применением целлюлозы, новые биокомпостируемые стандарты производства упаковки
31	Showa Denko (Япония)	Специальные алифатические полиэфиры Bionolle, сополимеры полибутилен/сукцинат и полибутилен/сукцинат/адипинат
32	Solvay S. A. (Бельгия)	Полилактиды для самого различного применения
33	Sukano (Швейцария)	Суперконцентраты добавок и красителей для биоразлагаемых полимеров PLA и PBS
34	Sunkyoung Ltd. (Корея)	Алифатические полиэфиры Sky Green
35	Total Corbion PLA (Нидерланды)	Полимолочная кислота (PLA) и лактидные мономеры Luminy® PLA высокотемпературные и стандартные марки для широкого диапазона от упаковки до потребительских товаров, волокон и автомобилей
36	Union Carbide Corp.(США)	Крупный поставщик полилактидов с высокой молекулярной массой для получения пленок и мешков под пищевые отходы, также высокомолекулярный, водорастворимый и биоразлагаемый полиэфир Polyox

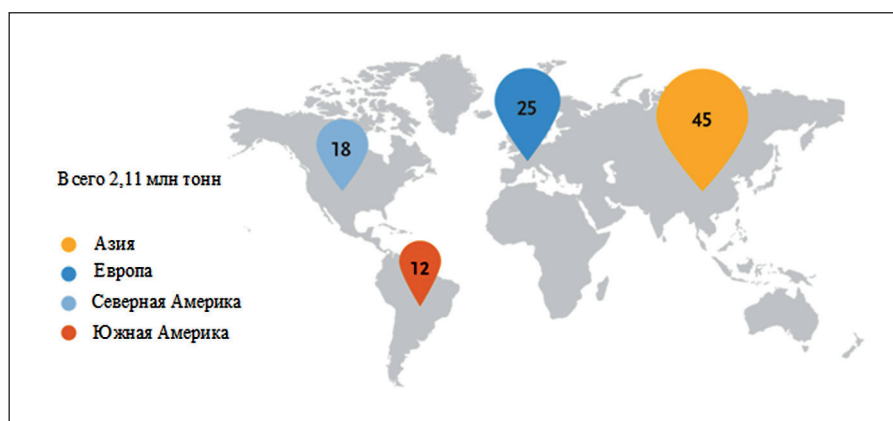


Рис. 4. Производственные мощности биопластиков по регионам в 2019 г., %
Источник: Европейский институт биопластиков

Таким образом, растет потребность в компостируемых биопластиках, что подтверждается увеличением количества производителей подобных материалов и продукции на их основе. Природные полимеры обладают высокой биоразлагаемостью, биосовместимостью и безопасностью. С другой стороны, использование синтетических материалов обусловлено тем, что они могут быть адаптированы для получения необходимых характеристик путем применения различных технологий производства для воспроизведения молекулярной структуры и из-

менения механических свойств в зависимости от потребностей.

Задачей новейших разработок в области создания компостируемых биопластиков является установление общих закономерностей в подборе компонентов и технологических параметров для производства материалов, сочетающих высокий уровень эксплуатационных характеристик со способностью к биоразложению, и основных правил регулирования скорости их безопасной деградации по окончании срока службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made // Science Advances. — 2017. — Vol. 3, № 7. — 82 p. DOI: [10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782).
2. Волкова А.В. Рынок утилизации отходов. — Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики. — 2018.
3. Шишонов М.В. Современные полимерные материалы. — Мн.: Вышэйшая школа, 2017. — 278 с.
4. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. — 2018. — Т. 28, № 4. — С. 535–544. DOI: [10.17150/2500-2759](https://doi.org/10.17150/2500-2759).
5. Van Sebille E. et al. The physical oceanography of the transport of floating marine debris // Environ. Res. Lett. — 2020. — Vol. 15, № 2. — 023003.
6. Пипия Л.К., Елкин А.Г. Переработка пластмасс: оценка рынка и перспективы // Наука за рубежом. — 2018. — С. 1–33.
7. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. — 2018. — Т. 28, № 4. — С. 535–544. DOI: [10.17150/2500-2759](https://doi.org/10.17150/2500-2759).
8. Рзаев К.В. Переработка отходов пластмасс в России // Твердые бытовые отходы. — 2017. — № 1. — С. 7–9.
9. Бузова О.В., Новикова В.О. Переработка пластиковых отходов // Агентство международных исследований. — 2017. — С. 134–136.
10. Петров А.В., Дориомедов М.С., Скрипачев С.Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. — 2015. — № 8. — С. 62–73. DOI: [10.15593/24111678/2017.04.08](https://doi.org/10.15593/24111678/2017.04.08).
11. Niaounakis M. Recycling of flexible plastic packaging. — Elsevier, 2020.

12. Madalina E.G. Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers // Recycling. – 2017. – Vol. 2, № 24. – P. 1–11.
13. Mehdi S.S., Bakhshandeh Gh.-R. Recycling of PVC wastes // Polymer Degradation and Stability. – 2011. – P. 404–415. DOI: [10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.001](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.001).
14. Hazrat M.A., Rasul M.G., Khan M.M.K. A study of Thermo-Catalytic Degradation for Production of Clean Transport Fuel and Recycling Plastic Wastes // Procedia Engineering. – 2015. – № 105. – P. 865–876. DOI: [10.1016/j.proeng.2015.05.108](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.108).
15. Ragart K., Delva L., Kevin V.G. / Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste // Waste Management. – 2017. – 69. – P. 24–58. DOI: [10.1016/j.wasman.2017.07.044](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044).
16. Палыга Р.Б. Потенциальные возможности переработки полимеров // Твердые бытовые отходы. – 2017. – № 1 (127). – С. 26–29.
17. Прокопчук, Н.Р., Мануленко, А.Ф., Евсей, А.В. Некоторые особенности рециклинга и регулирование свойств вторичного поливинилхлорида // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2010. – № 4. – С. 112–114.
18. Давыдова В.Н., Лукасик Ю.В., Соловьева В.А. Рециклинг термопластов и реактопластов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 56 с.
19. Rio Declaration on environment and development. – June 14, 1992. – Available online: URL <http://www.wno.org/rio-declaration-on-environment-and-development>.
20. Tappel L.J., Nomura R.C., Christopher T. Mini-Review: Biosynthesis of Poly (hydroxyalkanoates) // Polymer Reviews. – 2009. – 49 (3) – P. 226–248. DOI: [10.1080/15583720903048243](https://doi.org/10.1080/15583720903048243).
21. Kim Y.B., Lenz R.W. Polyesters from microorganisms. Advances in Biochemical Engineering // Biotechnology. – 2001. – № 71. – P. 51–79. DOI: [10.1007/3-540-40021-4_2](https://doi.org/10.1007/3-540-40021-4_2).
22. Hong Chua. Accumulation of biopolymers in activated sludge biomass // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 1999. – Vol. 78, № 1–3. – P. 389–399. DOI: [10.1385/ABAB:78:1-3:389](https://doi.org/10.1385/ABAB:78:1-3:389).
23. Рыночные данные по биопластикам // Европейская биопластика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.european-bioplastics.org/market/\(03.02.2015\)](https://www.european-bioplastics.org/market/(03.02.2015)).
24. Пармухина Е.Л. Российский рынок биоразлагаемой упаковки // Экологический вестник России; Исследовательская компания RESEARCH.TECHART. – 2011. – № 2. – С. 32–33.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Зарипов Ильнар Ильгизович, магистрант каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2594-3753>, e-mail: ilnar.zaripov1998@mail.ru

Кинзябулатова Диана Фидратовна, студент ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-9269>, e-mail: dinkin567890@yandex.ru

Минигазинов Наил Султанович, д.т.н., проф. каф. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: ooosripr@rusoil.net

Аминова Гулия Карамовна, д.т.н., проф. каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: aminovagk@inbox.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.



About Wuhan University of Technology

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

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

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

The University has three main campuses, namely, the Mafangshan Campus, the Yujiatou Campus and the South Lake Campus, with a total occupying land area of 267 hectares. Currently, WUT has 5,508 staff members, including 3,282 full-time academic staff members, 1 academician of China Academy of Science, 3 aca-



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

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

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

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

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

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

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

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

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

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

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

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

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

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

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





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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Contact information

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

R



УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

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

цированных кадров и инновационного центра знаний материаловедения и инженерного дела.

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

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

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

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

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

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





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

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

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

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

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

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

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

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

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

ГКЛ установило взаимовыгодное сотрудничество со всемирно известными научными институтами: Мичиганским университетом, Японским агентством авиакосмических технологий, Институтом металлов университета 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 нанолaborаторию между УУТ и Гарвардским университетом, совместную лабораторию новых энергоносителей и технологий между УУТ и Мичиганским университетом, комплексную лабораторию разномасштабных технологий композиционных материалов между УУТ и Лабораторией улучшенной композитной керамики Оксфорда. Опираясь на указанные международные исследовательские площадки, ГКЛ приняло участие в целой серии совместных международных проектов.

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

Контактная информация

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

R



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

L.A. Ivanov^{1*}, L.D. Xu², E.S. Bokova³, A.D. Ishkov⁴, S.R. Muminova⁵

¹ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

² Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA

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

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

⁵ Russian State University of Tourism and Service; Cherkizovo, Moscow region, Russia

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

ABSTRACT: 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 «A method to produce dry construction mixtures» refers to manufacturing of building materials, in particular, to manufacture of dry construction mixtures (DCM) by the method of joint mechanoactivation of cement and dolomite, with further modification of them with carbon nanostructures (CNT). The technical result of the given method of mixing CNT and main component of dry construction mixtures - cement – is that it makes possible to use microquantities (0.005%) of CNT in DCM. That allows decreasing product cost of obtained mixture. Moreover, due to increased strength, faster hardening of materials one can reduce consumption of these mixtures. That is additional factor affecting decrease of mixture product cost.

The results obtained after application of mechanoactivation of basic mixture components were different practically by all indicators from the mixtures prepared by simple mixing. Compression strength and tensile strength increased by 10–15%, adhesion strength increased too. Along with increasing of strength characteristics such an important indicator of DCM as air permeability has decreased. Reduction of total volume of pores in dense structure of cement matrix caused dramatic slow-up of moisture diffusion rate.

The specialists can also be interested in the following inventions in the area of nanotechnologies: a method of laser building-up welding for metal coatings, high RAP in WMA surface mixture containing nanoglass fibers, a device to apply nanoparticles of metal oxides on metal surface under normal conditions, multifunctional nanostructured additive for coatings, experimental assessment of cement mortar using nanooxide compounds, a composition for setting constructional layers of road pavements, a method to obtain composite films of nanofibers, nano-engineering of construction materials using molecular dynamics simulations, cast and self-compacting concrete mixture for cast-in-situ concrete and prefabricated reinforced units, a method to obtain photocatalyst based on nanotubular titanium dioxide et al.

KEYWORDS: nanotechnologies in construction, nanoparticles, nanostructures, nanofibers, nanomaterials.

FOR CITATION: 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.

INTRODUCTION

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

MAIN PART

A method to produce dry construction mixtures (RU 2735004 C1)

The invention refers to manufacturing of building materials, in particular, to manufacture of dry construction mixtures (DCM) by the method of joint mechanoactivation

tion of cement and dolomite, with further modification of them with carbon nanostructures (CNT) [1]. The aim of the invention is to reduce quantity of chemical additives keeping specified parameters of physical and chemical properties and to improve mixture placeability. This task can be solved by the method which is used to produce dry construction mixtures and which comprises joint mechanoactivation of cement or materials on its base with dolomite additive 30% with the use of Hint disintegrator with further modification with carbon nanotubes in multichamber mixer-dosing plant that operates according the rule “from less to more”. The optimal content of nanotubes is 0, 005%, at this mixing of carbon nanotubes with cement is performed in 4 stages: 0.005 g. of CNT for 100 g of cement, 100 g of cement with CNT for 1 kg. of cement, 1 kg of cement with CNT for 10 kg of cement, 10 kg of cement with CNT for 100 kg of cement, obtained mixture as superconcentrate is used to prepare main mixture: 100 kg of cement with CNT are mixed with 2000 kg. of dry construction mixture in general mixer, then new obtained mixer is mechanically activated in Hint disintegrator, in which its grinding and homogenization are performed. The technical result of the given method of mixing CNT and main component of dry construction mixtures – cement – is that it makes possible to use microquantities (0.005%) of CNT in DCM. That allows decreasing product cost of obtained mixture. Moreover, due to increased strength, faster hardening of materials one can reduce consumption of these mixtures. That is additional factor affecting decrease of mixture product cost.

The production of construction mixtures of this series is based on two principles, consistently complementing each other – mechanoactivation of basic mixture components and further modification of them with carbon nanostructures. Combination of two factors, determining the structure and characteristics of the final product made it possible to use maximum properties of components which are the part of dry mixtures. The results obtained after mechanoactivation has been applied to the basic mixture components were different practically by all indicators from the mixtures prepared by simple mixing. Compression strength and tensile strength increased by 10–15%, adhesion strength increased too. Along with increasing of strength characteristics such an important indicator of DCM as air permeability has decreased. Reduction of total volume of pores in dense structure of cement matrix caused dramatic slow-up of moisture diffusion rate.

A method of laser building-up welding for metal coatings (RU 2735481 C1)

The invention is aimed at increasing efficiency of building-up welding and performance characteristics of iron carbon alloys, in particularly, at improving their

antifriction properties, wear resistance and hardness under high and super high temperatures due to formation of layer of boron and titanium mix nitrides with specified thickness on the surface of alloys, serialized components and industrial facilities are employed in this process [2].

The scope is achieved due to the following technology: metal surface is covered with prepreg on the basis of polyamide fabric, for example, caprone sort 22059, impregnated with coking polymer composition. The fabric is destructured and active nitrogen is formed, under the temperature $140\div 200^{\circ}\text{C}$ the single macromolecule is formed, it contains simultaneously atoms of boron, titanium and nitrogen in stoichiometric ratio (two titanium atoms and one boron atom have three nitrogen atoms) and catalyst – carbon atom – when nitrides are formed. Under the temperature $1250\div 1350^{\circ}\text{C}$, caused by laser beam, prepreg is destructured giving liberate highly active atoms of boron, titanium, nitrogen and carbon which enter into reaction in porous coke forming a mixture of similar by melting temperature nitrides of titanium and boron and admixtures of heat-resistant carbides. Then the temperature is increased up to $1600\div 1800^{\circ}\text{C}$. At this coke and admixtures are destructured, and the lighter layer of solid particles, which melting temperature is about 3000°C , rests on the iron-carbon alloy. The thickness of the protection layer depends on the number of prepreg layers. Application of the composition on the polyamide fabric is regulated by viscosity of solution of composition and the performance of impregnator.

High RAP in WMA surface mixture containing nano glass fibers

In pavement engineering, there are some challenges such as the energy consumption, emissions, and other issues. Warm Mix Asphalt (WMA) technology is considered as a possible solution in pavement construction [3]. In this invention, base binder was modified with a wax compound (Sasobit) to reduce the overall toxic emissions which also requires less energy consumption in the pavement construction operations. Bituminous Concrete mixture was used, and Bailey’s method of gradation is also used. According to experiment, 3% sasobit dosage blended to the base binder shows good results, compared to other dosages that are used. A comparative study has been conducted on volumetric properties, mix stiffness, moisture susceptibility, and rutting characteristics. Mix combinations have been conducted with conventional and modified binders with different proportions of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and containing Nano glass fibers. Higher percentage of RAP up to 80% and with 5% rejuvenator as vegetable oil was employed in the experiment. The experiments show that 70% RAP mix causes a big increment in terms of performance properties up to 25%, comparing with the conventional mix. Reinforcement in the form of Nano Glass Fibers is con-

sidered in order to improve the properties of RAP mixes. In the 70% RAP mixes case the performance properties have increased up to 15% with the addition of 0.3% Nano glass fibers. This invention is considered as new method for pavement construction.

A device to apply nanoparticles of metal oxides on metal surface under normal conditions (RU 2733530 C1)

The invention refers to mass-spectrometric measurements and can be widely used in solving of analytical problems in the area of organic and bioorganic chemistry, immunology, biotechnologies, criminal science, proteomics, metabolomics and medicine, metabonomics and post-translational modification. A device to apply nanoparticles of metal oxides on metal surface under normal conditions is made in the form of coaxially placed vertical capillaries. Solution (suspension of nanoparticles) is supplied in the inner metal capillary, voltage from high-voltage power source is applied to the same capillary. Droplet-free electrospraying of nanoparticles is performed from the end of the capillary under normal conditions. Inner diameter of the outer coaxial capillary is bigger than outer diameter of inner capillary. Surplus of non-sprayed solution which wets down outer shell of inner capillary, with laboratory air are pumped with air pump through gap clearance between coaxial capillaries [4].

The technical result: a metal surface of target MALDI is under room temperature, dissolvent vapour is efficiently removed from the target area of nanoparticles application, nanoparticle spots of specified size are formed on the target without templet and their borders have strict limits. Diameter of capillary through which the solution is supplied became bigger, that allows using nanoparticles with wide range of sizes. The absence of microdroplets of solution in the spraying process makes it possible to obtain applied metal oxides which are mechanically resistant to coating abrasion. All this allows conducting numerous experiments with the target.

Multifunctional nanostructured additive for coatings (RU 2733526 C1)

The invention refers to compositions of multifunctional nanostructured additive for coatings such as lacquer, paints, enamels to protect from corrosion and biofouling of underwater parts of ships and marine structures. The novelty: multifunctional nanostructured additive for coating contains, % mass.: corrosion inhibitor and organic biocide in mole ratio 0,5–2,0/5,0–10,0, conducting polymer 10,0–40,0, nanoparticles of copper and zinc 2,0–10,0, aluminosilicate nanotubes – the rest up to 100. At this aluminosilicate nanotubes are intercalated with corrosion inhibitor and organic biocide and are coated with a layer of conducting polymer with nanoparticles of copper and zinc on the surface of polymer layer [5].

Achieved technical result is intercalation of aluminosilicate nanotubes with corrosion inhibitor and organic biocide and covering of the nanotubes with a layer of conducting polymer with nanoparticles of copper and zinc on its surface. The given additive is similar to aqueous and organic ambient, it is easily dispersed and can be used in any kinds of coatings.

Experimental assessment of cement mortar using nano oxide compounds

In construction industry, cement concrete and cement mortar has been paid much attention by researchers to improve its mechanical and other features and characteristics, as such construction materials have been heavily used in construction industry world-wide. Not only mechanical strength is important, but also other characteristics and properties such as durability, chemical resistance, weather resistance, are considered important in terms of the quality of building materials. A strategy is to reduce the consumption of cement quantity through improving its characteristics/properties, or alternative materials can be considered. This strategy to reduce the consumption of cement quantity that will help natural resource sustainability as well as reducing its impact on greenhouse effect to protect natural environment. Nano materials is one of the major considerations, including nano silica, nano alumina, nano titanium oxides, although the results given by experiments are still not matured. In this invention, authors tried to find the optimum percentage of nano materials with cement mortar for maximum compressive strength. The cement sand proportion was kept 1:3, water to binder ratio was kept 0.5, and no plasticiser was used. The influence of nano-ZnO, nano Silica, and nano Alumina on mechanical properties of cement mortar was experimentally investigated. Compressive strength tests were conducted to study the effects of nano particles on mechanical properties of cement mortar. Results of this study show that all the examined nano particles can improve durability and mechanical properties of the concrete. Nano Zinc oxide improves strength can up to 1.0 %, nano alumina and nano silica can be used up to 1.5 % [6].

A composition for setting constructional layers of road pavements (RU 2726102 C1)

The invention refers to road construction and can be used to set constructional layers of road pavements [7]. Composition for setting constructional layers of road pavements contains components in the following ratio, mass.%: sand screening dust of fraction 0–5 mm – 77–81; Portland cement, as a mineral binder, with mineral admixtures (strength class – 32,5, fast hardening) – 10–6; water – 13. Content of polymer composite is more than 100%, mass.% – 0,3–0,5, which is a colloid solution of high molecular surface active compound (product of aldehyde condensation) with addition of potassium

and sodium salts of metasilicate acid. The technical result is increased critical compressive strength and bending tension strength. This result is achieved due to formation of complex compounds in the interaction process between polymer composite and ions of liquid phase of cement-polymer system. The use of polymer composite into composition of road construction material allows rising compressive strength and bending tension strength.

Characteristics of basic materials:

1. Sand screening dust according to GOST 31424-2010 fraction 0–5 mm

2. Mineral binder – Portland cement with mineral additives according to GOST 31108-2016: type ЦЕМ II; strength class – 32,5; fast hardening.

3. Polymer composite in the form of colloid solution of high molecular surface active compound (product of aldehyde condensation) with addition of potassium and sodium salts of metasilicate acid (SAC is synthesized in the water under 80°C; mass ration SAC: sodium salt:potassium salt – 1:1:0,5).

4. Water according to GOST 23732-2011.

Development of composition for road construction has been conducted according to GOST 23558-94 by combining optimal amount of binder in percents of sand screening dust mass taking into account its optimal humidity. The main criteria of evaluation of composition optimality are strength characteristics and freeze resistance coefficients.

A method to obtain composite films of nanofibers (RU 2733457 C1)

The invention refers to nanotechnology, material science and can be used in designing of membranes, substrates, filters [8]. The proposed method of obtaining films from nanofibers consists of the following operations: the solutions of two or more polymers are prepared, polymer nanofiber spinning is conducted by means of electrospinning and a film of nanofiber combination is formed. According to invention, to perform electrospinning one should use a container with a liquid in which no polymer cannot be dissolved, counter electrode is in the container. Electrospinning is performed by applying a voltage between the container and electrode and spraying independently each polymer solution from metal capillary into container with formation of polymer nanofiber suspended solids in the given liquid. Then suspended solids are mixed with homogenizer, after that film formation is performed by removing liquid. Spraying of polymer solutions into container with liquid can be performed consistently or simultaneously. Moreover, removing of the liquid can be done by precipitating nanofibers in filter or by drying. The invention allows forming films from nanofibers of polymers of different nature and chemical composition.

The technical result achieved due to this invention is an opportunity to produce films consisting of combination

of different types of nanofibers, for example, nanofibers of polylactide and polysaccharose which are insoluble in one common dissolvent and which cannot be spinned from solution of polymer mixture.

The given method makes it possible to produce multi-component films from wide range of polymers. For each polymer or polymer group a “bad dissolvent” (in which the polymer is insoluble or almost insoluble) is chosen. For example, for protein films “bad dissolvent” is alcohol – ethanol or isopropanol. Then each of polymer solution in individual dissolvent (they can be incongruent) are sprayed separately into the container with “bad dissolvent”, thus nanofibers and suspended solids of these nanofibers are formed in “bad dissolvent”. After that suspended solids after homogenization is used for nanofiber film spinning.

Nano-engineering of construction materials using molecular dynamics simulations

Research on molecular dynamics simulations of construction materials have been paid much attention. The purpose is to understand microscopic physical and chemical processes that is involved with the macroscopic performance of construction materials. In this invention, molecular dynamics simulations has been conducted to understand the fundamental deformation mechanism of various construction materials including concrete and cement, fiber-reinforced polymers and related bonded systems with nanoengineering approach. Using nano-engineering approach, molecular dynamics simulations reveal microscopic physical and chemical processes. The molecular information and deformation mechanisms in these construction materials and associated interfaces with other materials can be revealed through simulations. The integration of simulations in nanoscale and finite element method in macroscale is explored, it is believed that the impact of such integration is tremendous. The knowledge regarding construction materials at the nanoscale can be obtained using nano-engineering method, as such, a thorough understanding of their structural properties and mechanical behaviors can be made available. Molecular dynamics simulations especially the understanding of structures and interactions are promising for construction materials improvement and upgrading [9].

Cast and self-compacting concrete mixture for cast-in-situ concrete and prefabricated reinforced units (RU 2725559 C1)

The invention refers to construction materials, in particularly, to cast and self-compacting concrete mixture and can be used in production of cast-in-situ concrete and prefabricated reinforced units and articles of widespread use, including high-density reinforcement structures as well as massive concrete and reinforced concrete structures and buildings with increased crack-

resistance, low heat radiation, high rate of hardening, specified strength, water permeability, frost resistance and durability [10].

Cast and self-compacting concrete mixture for cast-in-situ concrete and prefabricated reinforced units comprises nanocement of one of the following type 30, 35, 45, 55, building sand, ballast stone, water, ballast stone with fraction 5–10 mm and additionally – stone screening dust with fraction 2–5 mm and following ratio of components, mass.%: the mentioned nanocement 12–20; building sand 20–35; stone screening dust with fraction 2–5 mm 15–21; ballast stone with fraction 5–10 mm 20–29; water – the rest. Cast and self-compacting concrete mixture in which specific surface of nanocement is 600–900 m²/kg, also contains antifreeze admixture, its quantity is 1–2 mass.%. The technical result – high consistency of concrete mix and preservation of it for one or two hours with minimal water content.

Today production of cast and self-compacting concrete mixtures is considered to be the most promising area in concrete industry as it makes possible to deliver and cast concrete mixtures which will fill all space of reinforcement.

A method to obtain photocatalyst on the basis of nanotubular titanium dioxide (RU 2732130 C1)

The invention refers to electrochemical technology for production of titanium compounds, in particularly, to technology of obtaining nanotubular titanium dioxide (TiO₂-NT) with increased photocatalytic activity by means of anodizing and can be used in photocatalytic treatment of air from organic pollutants [11].

Titanium dioxide is a promising material as there is a need to develop green technologies, i.e. eco-friendly technologies. Moreover, titanium dioxide is a material that could clean up environment from pollutants. Its photocatalytic and electrophysical properties are unique, that fact makes it possible to purify water and air, to create self-cleaning coatings, degrade bacteria, to produce solar elements on the basis of it, lithium-ion accumulators as well as to obtain hydrogen in water photolysis process. Physical characteristics of anodized titanium dioxide depend on structural and geometrical parameters which can be varied when determining proper conditions for anodizing process.

The use of corrosion steel allows prolonging operating time as well as significantly decreasing photocatalyst cost. The process time has been 9 times shortened due to combination of anodizing conditions: chemical composition of electrolytic solution, cathode material, voltage and environment temperature. The initial roughness of industrial titanium metal paper BT1-0 is acceptable to obtain even oxide layer of titanium dioxide nanotubes, therefore there is no need to polish mechanically titanium when preparing it for anodizing.

Eco-Building Material of Styrofoam Waste and Sugar Industry Fly-ash Based on Nano-Technology

The construction material manufacturing directly affect environmental degradation that results in global warming and climate change. In addressing this, the concept of sustainable green construction, especially with concrete constituent materials modification has been proposed. Research and development of green construction material has attracted much attention. In this invention, industrial waste of Styrofoam is applied to manufacturing concrete which offers features such as light weight and good resistance against seepage. The fly ash's intended use is to be used as cement substitute material, thus the use of cement in the concrete mix can be reduced. The use of fly ash from sugar mills Trangkil-Pati, Indonesia, provides proof of increasing the compressive strength of lightweight concrete. In this invention, nano technology concept is applied to improve the quality of foam-brick performance. The advantages of using Styrofoam include aerated light-weight concrete and fly ash usage forming materials, offering eco building material. The benefits include: use of waste materials reducing manufacturing cost, increase the value of industrial waste, reducing earthquake disaster relief efforts as less relief work required due to lighter weight of the structure, increasing structure residential safety during disaster, and suitable for residential buildings in the earthquake zone [12].

Alloying element for preparation of composite materials on the basis of aluminum or aluminum alloys and a method to obtain alloying element (RU 2734316 C9)

The invention refers to alloying elements for preparation of composite materials on the basis of aluminum or aluminum alloys and can be used in non-ferrous industry to produce strengthened aluminum materials by means of mould technologies. Composite materials on the basis of aluminum are widely used as they are extra strong, resistant to friction and high temperatures. The properties of aluminum composite materials depend on the size of filler dispersed in it. Filler of smaller sizes, in particularly, carbon nanotubes provides better material characteristics, however, it is very difficult to disperse such filler as its size is too small [13].

The invention solves a problem of creation of alloying element for aluminum and aluminum alloys, that will make possible to produce composite materials on the basis of aluminum or aluminum alloys with carbon nanotubes evenly distributed in them. The imposed task can be solved in the following way: the proposed alloying element for aluminum and aluminum alloys comprises aluminum and carbon nanotubes surface of which contains adsorbed gases in such a quantity that mass ratio of the given nanotubes and adsorbed gases is less than 100. One should note that at least some nanotubes are

located in aluminum volume in such a way they have no contact with environment.

The proposed alloying element may contain single-walled, and/or double-walled, and/or multi-walled carbon nanotubes. Alloying element can be made in the form of metal cast with carbon nanotubes inside. Also, alloying element can be metal pressed, rerolling feed or stamped bank with carbon nanotubes inside. Composition of alloying element can contain at least one of the following metal: copper, and/or zinc, and/or magnesium, and/or lead.

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

- A method to obtain reinforced nanocomposite with additional properties [14].
- A plant for synthesis of carbon-containing nanomaterials [15].
- A method to produce nanoporous ceramics on the basis of mullite [16].
- Graphene microspheres in the form of paper ball, composite material of such microsphere and a method to produce such microspheres [17].
- A method to obtain modified carbon nanotubes [18].
- A method to obtain electroluminescence mixed lead-haloid perovskite materials with high phase stability [19].
- Tools for detection of nuclear composition of atmospheric emissions of nuclear atomic power stations [20].
- A method to obtain heat stable microporous coating based on mixed titanium-silica oxide [21].
- Luminescence sensor of heavy metal ion concentration in water (mainly for cobalt) based on triple composition quantum boxes [22].
- Various aerosol filters for neutron activation analysis [23].
- Modified polymer composition and a method to obtain it [24].
- Gunn-effect diode on the basis of wire-type nanocrystals of gallium nitride [25].
- Heat insulating material based on aerogel with capability to introduce nanomaterials into final product [26].
- A method to produce composite materials based on Ti-B-Fe, modified with nanosize particles AlN [27].
- Fibroporous structures of polyurethane solutions for manufacturing [28].

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. Krivtsov E.E., Golik A.M. *A method to produce dry construction mixtures*. Russian Federation Patent 2735004. 27.10.2020.
2. Sychev A.P., Kolesnikov V.I., Lapitsky V.A. et al. *A method of laser building-up welding for metal coatings*. Russian Federation Patent 2735481. 03.11.2020.
3. Rochishnu E., Ramesh A., Ramayya V. V. Sustainable pavement technologies-performance of high RAP in WMA surface mixture containing nano glass fibers. *Materials Today: Proceedings*. 2020.
4. Podolskaya E.P., Kelzieva O.A., Krasnov N.V. et al. *A device to apply nanoparticles of metal oxides on metal surface under normal conditions*. Russian Federation Patent 2733530. 05.10. 2020.
5. Vinokurov V.A., Glotov A.P., Guschin P.A. et al. *Multifunctional nanostructured additive for coatings*. Russian Federation Patent 2733526. 02.10.2020.
6. Kantharia M., Mishra P. K., Jani S., Trivedi M. K. Experimental assessment of cement mortar using nano oxide compounds. *Materials Today: Proceedings*. 2020; 29: 456–461.
7. Dabizha O.N., Konovalova N.A., Pankov P.P et al. *A composition for setting constructional layers of road pavements*. Russian Federation Patent 2726102. 09.07.2020.
8. Klinov D.V., Moskalets A.G. *A method to obtain composite films of nanofibers*. Russian Federation Patent 2733457. 01.10.2020.
9. Lau D., Jian W., Yu Z., Hui D. Nano-engineering of construction materials using molecular dynamics simulations: Prospects and challenges. *Composites Part B: Engineering*. 2018;143: 282–291.
10. Bikbau M.Yu., Khusnutdinov A.M. *Cast and self-compacting concrete mixture for cast-in-situ concrete and prefabricated reinforced units*. Russian Federation Patent 2725559. 03.07.2020.

11. Valeeva A.A., Dorosheva I.B., Vokhmintsev A.S. et al. *A method to obtain photocatalyst based on nanotubular titanium dioxide*. Russian Federation Patent 2732130. 11.09.2020.
12. Setyowati E. Eco-building material of styrofoam waste and sugar industry fly-ash based on nano-technology. *Procedia Environmental Sciences*. 2014;20: 245–253.
13. Predtechensky M.R., Khasin A.A., Alekseev A.V. *Alloying element for preparation of composite materials on the basis of aluminum or aluminum alloys and a method to obtain alloying element*. Russian Federation Patent 2734316. 18.11.2020.
14. Ivanov L.A., Razumeev K.E., Bokova E.S., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part V. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(6): 719–729. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729).
15. Vavilov E.S. *A plant for synthesis of carbon-containing nanomaterials*. Russian Federation Patent 2732842. 23.09.2020.
16. Morozova L.V. *A method to produce nanoporous ceramics on the basis of mullite*. Russian Federation Patent 2737298. 26.11.2020.
17. Gao Ch., Chen Ch., Han I. *Graphene microspheres in the form of paper ball, composite material of such microsphere and a method to produce such microspheres*. Russian Federation Patent 2734476. 16.10.2020.
18. Ivanov L.A., Bokova E.S., Muminova S.R., Katuhin L.F. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part I. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(1): 27–33. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33).
19. Pushkarev A.P., Anoshkin S.S., Lyashenko T.G., Makarov S.V. A method to obtain electroluminescence mixed lead-haloid perovskite materials with high phase stability. Russian Federation Patent 2733933. 08.10.2020.
20. Vasyanovich M., Vasilyev A., Ekidin A., Kapustin I., Kryshev A. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases. *Nuclear Engineering and Technology*. 2019; 51(4): 1176–1179.
21. Gorshkov A.A., Avdin V.V., Morozov R.S. *A method to obtain heat stable microporous coating based on mixed titanium-silica oxide*. Russian Federation Patent 2733936. 08.10.2020.
22. Dubovik A.Yu., Baranov A.V., Kurshanov D.A. *Luminescence sensor of heavy metal ion concentration in water (mainly for cobalt) based on triple composition quantum boxes*. Russian Federation Patent 2733917. 08.10.2020.
23. Zuyev S.V., Afonin A.A., Burmistrov Y.M., Konobeevski E.S., Mordovskoy M.V., Ponomarev V.N., Solodukhov G.V., Kapustin I.A., Pletnikov E.V. Studying the possibility of using different aerosol filters for neutron-activation analysis. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2019; 83(4): 445–448.
24. Lependin S.V., Soikin A.S. *Modified polymer composition and a method to obtain it*. Russian Federation. Patent 2737375. 27.11.2020.
25. Mozharov A.M. *Gunn-effect diode on the basis of wire-type nanocrystals of gallium nitride*. Russian Federation Patent 2733700. 06.10.2020.
26. Ivanov L.A., Ishkov A.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part IV. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(5): 275–284. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284).
27. Bolotskaya A.V., Mikheev M.V., Bazhin P.M., Stolin A.M. *A method to produce composite materials based on ti-b-fe, modified with nanosize particles AlN*. Russian Federation Patent 2737185. 25.11.2020.
28. Vasyanovich M., Vasilyev A., Ekidin A., Kapustin I., Kryshev A. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases. *Nuclear Engineering and Technology*. 2019; 51(4): 1176–1179.

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, e-mail: LXu@odu.edu

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

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

Svetlana R. Muminova, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Russian State University of Tourism and Service; Cherkizovo, Moscow region, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5236-607X>, e-mail: it.rguts@mail.ru

All authors declare the absence of any competing interests.

Received: 03.11.2020.

Revised: 07.12.2020.

Accepted: 09.12.2020.



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

Л.А. Иванов^{1*} , Л.Д. Сюй², Е.С. Бокова³ , А.Д. Ишков⁴ , С.Р. Муминова⁵

¹ Российская инженерная академия, г. Москва, Россия

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

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

⁴ Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

⁵ Российский государственный университет туризма и сервиса; пос. Черкизово, Московская область, 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 производства сухих строительных смесей» относится к производству строительных материалов, конкретнее к производству сухих строительных смесей (ССС) методом совместной механоактивации цемента и доломита, с последующей модификацией сухих строительных смесей углеродными наноструктурами (УНТ). Техническим результатом данного способа смешения УНТ с основным компонентом сухих строительных смесей – цементом – удалось достичь использования микроскопических (0.005%) количеств УНТ в составе СССР. Тем самым удалось добиться снижения производственной себестоимости получаемой смеси. Более того, благодаря повышению прочности, более быстрому твердению материалов появляется возможность сократить их расход, что является дополнительным фактором снижения производственной себестоимости смесей.

Результаты, полученные после применения механоактивации базовых компонентов смесей, отличались практически по всем показателям от смесей, приготовленных при простом перемешивании. Увеличились на 10–15% значения прочности на сжатие и на изгиб, адгезионная прочность. Также при увеличении прочностных характеристик уменьшился такой важный показатель для СССР, как воздухопроницаемость. Уменьшение общего объема пор в плотной структуре цементной матрицы резко снизило скорость диффузии влаги.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: способ лазерной наплавки металлических покрытий, смесь для нанесения финишного асфальтного покрытия, высокорегенированное асфальтное покрытие (РАП), устройство для нанесения наночастиц оксидов металлов на металлическую поверхность при нормальных условиях, многофункциональная наноструктурированная добавка к покрытиям, экспериментальная оценка цементного раствора с использованием наноксидных соединений, состав для устройства конструктивных слоев дорожных покрытий, способ получения композитных пленок, состоящих из нановолокон, нанопроектирование строительных материалов при помощи моделирования молекулярной динамики, литая и самоуплотняющаяся бетонная смесь для производства монолитного бетона и сборных изделий из железобетона, способ получения фотокатализатора на основе нанотубулярного диоксида титана и др.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии в строительстве, наночастицы, наноструктуры, наночастицы, нановолокна, наноматериалы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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.

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 производства сухих строительных смесей (RU 2735004 C1)

Изобретение относится к производству строительных материалов, конкретнее к производству сухих строительных смесей методом совместной механоактивации цемента и доломита, с последующей модификацией сухих строительных смесей углеродными наноструктурами [1]. Задачей изобретения является сокращение количества химических добавок при сохранении нормируемых показателей физико-химических свойств и улучшении удобоукладываемости смеси. Данная задача решается за счет способа производства сухих строительных смесей, включающего совместную механоактивацию цемента или материалов на его основе с добавкой доломита 30%, при помощи дезинтегратора Хинта с последующей модификацией углеродными нанотрубками в многокамерном смесителе-дозаторе, работающем по принципу «из меньшего в большее», оптимальное содержание которых составляет 0,005%, при этом перемешивание углеродных нанотрубок с цементом происходит в 4 этапа: 0,005 г УНТ на 100 г цемента, 100 г цемента с УНТ на 1 кг цемента, 1 кг цемента с УНТ на 10 кг цемента, 10 кг цемента с УНТ на 100 кг цемента, полученная смесь как суперконцентрат используется для приготовления основной смеси: 100 кг цемента с УНТ смешиваются с 2000 кг сухой строительной смеси в основном смесителе, далее вновь полученная смесь проходит механоактивацию в дезинтеграторе Хинта, где осуществляется ее измельчение и гомогенизация. Техническим результатом данного способа смешения УНТ с основным компонентом сухих строительных смесей — цементом — удалось достичь использования микроскопических (0,005%) количеств УНТ в составе ССС. Тем самым удалось добиться снижения производственной себестоимости получаемой смеси. Более того, благодаря повышению прочности, более быстрому твердению материалов появляется возможность сократить их расход, что является дополнительным фактором снижения производственной себестоимости смесей.

Производство строительных смесей данной серии базируется на двух основных принципах, последовательно дополняющих друг друга — механоакти-

вация базовых компонентов смесей и последующая их модификация углеродными наноструктурами. Сочетание двух факторов, определяющих структуру и свойства конечного продукта, позволило максимально использовать возможности компонентов, составляющих строительные смеси. Результаты, полученные после применения механоактивации базовых компонентов смесей, отличались практически по всем показателям от смесей, приготовленных при простом перемешивании. Увеличились на 10–15% значения прочности на сжатие и на изгиб, адгезионная прочность. Также при увеличении прочностных характеристик уменьшился такой важный показатель для ССС, как воздухопроницаемость. Уменьшение общего объема пор в плотной структуре цементной матрицы резко снизило скорость диффузии влаги.

Способ лазерной наплавки металлических покрытий (RU 2735481 C1)

Целью изобретения является повышение производительности процесса наплавки и эксплуатационных характеристик железоуглеродистых сплавов, в частности улучшения их антифрикционных свойств, износостойкости и твердости в условиях воздействия высоких и сверхвысоких температур за счет образования на поверхности сплавов слоя из смеси нитридов бора и титана заданной регулируемой толщины с использованием серийно выпускаемых компонентов и промышленного оборудования [2].

Поставленная цель достигается тем, что на металлическую поверхность наносится препрег на основе полиамидной ткани, например, капроновой марки 22059, пропитанной коксующимся полимерным составом. Препрег под воздействием температуры 1250÷1350°C, создаваемой лазерным лучом, деструктурирует, высвобождая высокоактивные атомы бора, титана, азота и углерода, которые вступают в реакцию в среде пористого кокса, образуя смесь близких по температуре плавления нитридов титана и бора с примесями термостойких карбидов. Затем температуру повышают до 1600÷1800°C. При этом кокс и примеси деструктурируют, на поверхности железоуглеродистого сплава остается более легкий слой твердых частиц, температура плавления которых близка к 3000°C. Толщина защитного слоя регулируется количеством слоев препрега. Нанесение состава на полиамидную ткань регулируется вязкостью его раствора и скоростью протяжки ткани на пропиточной машине.

Смесь для нанесения финишного асфальтного покрытия. Высокорегенированное асфальтное покрытие (РАП)

В данном изобретении основное связующее было модифицировано воском (Sasobit) для снижения

общего количества токсичных выбросов, что также означает снижение энергопотребления в процессе выполнения дорожных работ. Количество воска в асфальтовой смеси варьировали. Установлено, что оптимальным количеством воска Sasobit, добавленного к связующему, является 3%. При этом увеличивается вязкость смеси, гидрофильность и сила адгезионного сцепления. В состав смеси входили как традиционные, так и модифицированные воском связующие, разное количество регенерируемого асфальтного покрытия (РАП), а также наностекловолокна. Содержание РАП в смеси составляло до 80%. Введение в связующее такого большого количества РАП проводили совместно с растительными жирами в количестве 5% по отношению к связующему. Результаты эксперимента показали, что использование смеси, модифицированной 70% РАП, приводит к значительному увеличению эксплуатационных характеристик по сравнению с традиционными смесями. Наностекловолокна вводятся для армирования связующего и улучшения свойств смесей. Оптимальное содержание нановолокна составляет 0,3%. Данное изобретение может стать новым методом в дорожном строительстве.

Устройство для нанесения наночастиц оксидов металлов на металлическую поверхность при нормальных условиях (RU 2733530 C1)

Изобретение относится к области масс-спектрометрии и может найти широкое применение при решении аналитических задач органической и биорганической химии, иммунологии, биотехнологии, криминалистике, протеомике, метаболомике и медицины, метабономики и посттрансляционной модификации. Устройство для нанесения наночастиц оксидов металлов на металлическую поверхность при нормальных условиях выполнено в виде коаксиально расположенных капилляров, ориентированных вертикально. По внутреннему металлическому капилляру подается раствор (суспензия наночастиц), к этому же капилляру прикладывается напряжение от высоковольтного источника питания. С торца этого капилляра происходит бескапельное электрораспыление наночастиц при нормальных условиях. Коаксиальный внешний капилляр имеет внутренний диаметр больше внешнего диаметра внутреннего капилляра. Излишки нераспыленного раствора, смачивающие внешнюю стенку внутреннего капилляра, вместе с лабораторным воздухом откачиваются воздушным насосом через зазор между коаксиальными капиллярами [4].

Технический результат — металлическая поверхность мишени MALDI находится при комнатной температуре, пары растворителя эффективно удаляются из области нанесения наночастиц на мишень,

пятна наночастиц на мишени требуемых размеров получаются без применения трафаретов, и их границы строго ограничены, диаметр капилляра, по которому поступает раствор, увеличен, что позволяет использовать наночастицы с широким распределением по размерам. Отсутствие микрокапель раствора в процессе распыления позволяет получить механически устойчивые к истиранию покрытия наносимых оксидов металлов, что позволяет проводить многократные эксперименты с мишенью.

Многофункциональная наноструктурированная добавка к покрытиям (RU 2733526 C1)

Изобретение относится к составам многофункциональных наноструктурированных добавок к покрытиям, таким как лаки, краски, эмали, с целью предотвращения процессов коррозии и биообрастания подводных частей судов и морских сооружений. Сущность: многофункциональная добавка к покрытиям содержит, % масс.: ингибитор коррозии и органический биоцид в мольном соотношении 0,5–2,0/5,0–10,0, проводящий полимер 10,0–40,0, наночастицы меди или цинка 2,0–10,0, алюмосиликатные нанотрубки — остальное до 100. При этом алюмосиликатные нанотрубки интеркалированы ингибитором коррозии и органическим биоцидом и покрыты слоем проводящего полимера с наночастицами меди или цинка по поверхности полимерного слоя [5].

Достижимый технический результат заключается в обеспечении интеркалирования ингибитором коррозии и органическим биоцидом алюмосиликатных нанотрубок и покрытия указанных нанотрубок слоем проводящего полимера с наночастицами меди или цинка по поверхности. Описываемая добавка обладает сродством к водным и органическим средам, легко диспергируется и может быть использована в любых видах покрытий.

Экспериментальная оценка цементного раствора с использованием наноксидных соединений

Исследователи пристально изучают цементобетон и цементные растворы с целью улучшения их механических и других характеристик, так как строительные материалы широко используются в строительстве во всем мире. Важна не только механическая прочность, но и другие свойства и характеристики, такие как: долговечность, химическая стойкость, стойкость к атмосферным воздействиям. Все эти характеристики считаются важными при рассмотрении качества строительных материалов. Стратегия заключается в сокращении расхода цемента за счет улучшения его характеристик/свойств или использовании альтернативных материалов. Данная стратегия будет способствовать сохранению природных ресур-

сов, а также снижению его воздействия на парниковый эффект для защиты окружающей среды. Несмотря на то, что результаты экспериментов до сих пор не обработаны досконально, наноматериалы — одни из главных перспективных решений, включающих нанокремнезем, наноалюминий, оксиды нанотитана. В данном изобретении попытались найти оптимальный процент наноматериалов в цементном растворе для максимальной прочности на сжатие. Пропорция цементного песка составляла 1:3, отношение воды к вяжущему веществу 0,5, пластификатор отсутствовал. Экспериментально исследовались влияние наноZnO, нанокремнезема и наноалюминия на механические свойства цементного раствора. Испытания прочности на сжатие проводились с целью изучения влияния наночастиц на механические свойства цементного раствора. Результаты данных испытаний показали, что все исследуемые наночастицы способны улучшить прочность и механические свойства бетона. Нанооксиды цинка могут увеличить прочность до 1%, наноалюминий и нанокремнезем могут быть использованы для увеличения прочности до 1,5% [6].

Состав для устройства конструктивных слоев дорожных покрытий (RU 2726102 C1)

Изобретение относится к области дорожного строительства и может быть использовано для устройства конструктивных слоев дорожных покрытий [7]. Состав для устройства конструктивных слоев дорожных покрытий содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %: песок из отсевов дробления фракции 0–5 мм — 77–81; в качестве минерального вяжущего портландцемент с минеральными добавками (класс прочности — 32,5, быстротвердеющий) — 10–6; вода — 13. Сверх 100% содержится полимерный композит, мас. %, — 0,3–0,5, который представляет собой коллоидный раствор высокомолекулярного поверхностно-активного вещества (продукта полиальдольной конденсации ацетальдегида) с добавками калиевых и натриевых солей метакремниевой кислоты. Технический результат заключается в повышении предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе. Достижение указанного технического результата обусловлено образованием комплексных соединений при взаимодействии полимерного композита с ионами жидкой фазы цементно-полимерной системы. Использование полимерного композита в составе дорожно-строительного материала позволяет повысить предел прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при изгибе.

Характеристика исходных материалов:

1. Песок из отсевов дробления по ГОСТ 31424-2010 фракции 0–5 мм.

2. Минеральное вяжущее — портландцемент с минеральными добавками по ГОСТ 31108-2016: тип ЦЕМ II; класс прочности — 32,5; быстротвердеющий.

3. Полимерный композит в виде коллоидного раствора высокомолекулярного поверхностно-активного вещества (продукта полиальдольной конденсации ацетальдегида) с добавками калиевых и натриевых солей метакремниевой кислоты (ПАВ синтезирован в воде при 80°C; массовое соотношение ПАВ: натриевая соль: калиевая соль — 1:1:0,5).

4. Вода по ГОСТ 23732-2011.

Разработка состава для дорожного строительства проводилась в соответствии с ГОСТ 23558-94 путем подбора оптимального количества вяжущего в процентах от массы песка из отсевов дробления с учетом его оптимальной влажности. Основными критериями оценки оптимальности состава являлись прочностные характеристики и значения коэффициентов морозостойкости.

Способ получения композитных пленок, состоящих из нановолокон (RU 2733457 C1)

Изобретение относится к области нанотехнологии, материаловедения и может быть использовано при конструировании мембран, подложек, фильтров [8]. Предлагаемый способ получения пленки из нановолокон заключается в том, что готовят растворы двух или более полимеров, проводят формование нановолокон полимеров методом электроспиннинга и формируют пленку из смеси нановолокон. Согласно изобретению, для электроспиннинга используют сосуд с жидкостью, в которой не растворяется ни один из полимеров. В этот сосуд погружен также противоэлектрод. Электроспиннинг осуществляют путем подачи напряжения между сосудом и электродом и распыления каждого раствора полимера отдельно из металлического капилляра в сосуд с образованием взвеси нановолокон полимеров в указанной жидкости. Далее взвесь перемешивают гомогенизатором, после чего осуществляют формование пленки путем удаления жидкости. Распыление растворов полимеров в сосуд с жидкостью может осуществляться последовательно или одновременно. Кроме того, удаление жидкости может осуществляться путем осаждения нановолокон на фильтре или путем высушивания. Изобретение позволяет формировать пленки из нановолокон полимеров различной природы и химического состава.

Технический результат, достигаемый изобретением, заключается в обеспечении возможности получения пленок, состоящих из комбинации различных типов нановолокон, например, нановолокон полилактида и полисахарида, которые не растворяются в одном общем растворителе и которые нельзя сформовать из раствора смеси полимеров.

Данный способ позволяет получать многокомпонентные пленки из большого числа различных полимеров. Для каждого полимера или группы полимеров подбирают «плохой растворитель», в котором полимер нерастворим или плохо растворим. Например, для белковых пленок «плохими растворителями» являются спирты — этанол или изопропанол. Далее в сосуд с «плохим растворителем» (в качестве противоэлектрода) распыляются отдельно каждый из растворов полимеров в индивидуальном растворителе (причем они могут быть несовместимыми) с формированием нановолокон и формированием взвеси этих нановолокон в «плохом растворителе». Далее взвесь после гомогенизации используется для формирования нановолокнистой пленки.

Нанопроектирование строительных материалов при помощи моделирования молекулярной динамики

Исследованиям моделирования молекулярной динамики уделяется много внимания. Главная цель — понять микроскопические физические и химические процессы, т.к. это связано с макроскопическим сопротивлением материалов. В данном изобретении моделирование молекулярной динамики выполняется для определения фундаментального механизма деформации в различных строительных материалах, включая бетон и цемент, волокнисто-наполненные полимеры и связанные с ними системы связующих с наноинженерным подходом. Данный подход в моделировании молекулярной динамики вскрывает микроскопические физические и химические процессы. Моделирование позволяет обнаружить информацию о молекулах и механизмах деформации в указанных строительных материалах, а также связанных поверхностях соприкосновения с другими материалами. Исследуется интеграция моделирования на наноуровне с методом конечных элементов на макроуровне, предполагается, что эффект от такой интеграции достаточно велик. Знания о строительных материалах на наноуровне могут быть получены с использованием наноинженерного метода, ввиду этого, может стать доступной возможность тщательного определения их структурных свойств и механического поведения. Это моделирование молекулярной динамики, особенно понимание структур и взаимодействий, перспективны для улучшения и обновления строительных материалов [9].

Литая и самоуплотняющаяся бетонная смесь для производства монолитного бетона и сборных изделий из железобетона (RU 2725559 C1)

Изобретение относится к строительным материалам, в частности, к литым и самоуплотняющимся

бетонным смесям, и может быть использовано при изготовлении монолитных и сборных бетонных и железобетонных строительных изделий и конструкций широкого назначения, в том числе густо армированных конструкций, а также массивных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений с повышенными показателями трещиностойкости, пониженным тепловыделением, высоким темпом твердения, требуемыми показателями прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и долговечности [10].

Литая и самоуплотняющаяся бетонная смесь для производства монолитного бетона и сборных изделий из железобетона, включающая наноцемент одного из типов 30, 35, 45, 55, строительный песок, щебень, воду, содержит щебень гранитный фракции 5–10 мм и дополнительно — отсев гранитного щебня фр. 2–5 мм при следующем соотношении компонентов, мас. %: указанный наноцемент 12–20; песок строительный 20–35; отсев гранитного щебня фракции 2–5 мм 15–21; щебень гранитный фракции 5–10 мм 20–29; вода — остальное. Литая и самоуплотняющаяся бетонная смесь, в которой наноцемент имеет удельную поверхность 600–900 м²/кг, дополнительно содержит противоморозную добавку в количестве от 1 до 2-х мас. %. Технический результат — обеспечение высокой подвижности бетонной смеси с ее сохранением в течение времени от одного до двух часов при минимальном водосодержании.

В настоящее время производство литых и самоуплотняющихся бетонных смесей считается наиболее перспективным направлением в технологии бетона, так как позволяет подать и уложить бетонные смеси, хорошо проникающие среди арматуры в межпалубное пространство.

Способ получения фотокатализатора на основе нанотубулярного диоксида титана (RU 2732130 C1)

Изобретение относится к электрохимической технологии получения соединений титана, а именно к технологии получения нанотубулярного диоксида титана (TiO₂-НТ) с повышенной фотокаталитической активностью анодированием, и может применяться для фотокаталитической очистки воздуха от органических загрязнителей [11].

Диоксид титана является перспективным материалом в связи с необходимостью развития зеленых технологий, то есть технологий, не загрязняющих окружающую среду. Кроме того, диоксид титана является материалом, который призван очистить окружающую среду от загрязнений. Он обладает уникальными фотокаталитическими и электрофизическими свойствами, что позволяет очищать воду и воздух, создавать самоочищающиеся покрытия,

разлагать бактерии, создавать на его основе элементы солнечных батарей, литий-ионных аккумуляторов, а также получать водород при фотолизе воды. Физические свойства анодированного диоксида титана зависят от структурных и геометрических параметров, которые можно варьировать, подбирая условия анодирования.

Использование коррозионной стали позволяет увеличить срок эксплуатации, а также значительно снижает себестоимость фотокатализатора. Длительность процесса сокращена в 9 раз за счет подбора условий анодирования – химического состава электролита, материала катода, напряжения и температуры среды. Исходная шероховатость промышленной титановой фольги марки BT1-0 допустима для получения равномерного оксидного слоя из нанотрубок диоксида титана, поэтому отсутствует необходимость механической полировки при подготовке титана к анодированию [11].

Экологический строительный материал из пенополистирольных отходов и золы уноса от производства сахара на основе нанотехнологий

Производство строительных материалов самым непосредственным образом влияет на ухудшение окружающей среды и, как следствие этого, на глобальное потепление и изменение климата. Для решения данной проблемы была предложена концепция устойчивого зеленого строительства, предусматривающая использование модифицированных бетонов. Исследованию и развитию материалов для зеленого строительства уделяется много внимания. В данном изобретении промышленные пенополистирольные отходы используются для производства легковесного бетона с высокими водостойкими качествами. Зола уноса используется в качестве замены цемента для сокращения его расхода. Использование золы уноса, полученной от сахарных заводов Trangkil-Pati (Индонезия), обеспечивает реальное увеличение прочности сжатия легковесного бетона. В данном изобретении с помощью нанотехнологической концепции совершенствуется качество эксплуатации пеноблоков. Преимуществами применения пенополистирола является легковесный пенобетон, а золы уноса – формирование материалов, пригодных для экологичного строительства. Также к достоинствам можно отнести следующее: снижение строительных издержек за счет вторичного использования производственных отходов, повышение ценности таких отходов, сокращение трудоемкости при устранении последствий землетрясений благодаря более легкому весу сооружения, повышение безопасности конструкции жилых зданий во время ЧП и удобство

использования при строительстве жилых зданий в сейсмоопасных зонах.

Лигатура для приготовления композиционных материалов на основе алюминия или алюминиевых сплавов и способ получения лигатуры (RU 2734316 C9)

Изобретение относится к лигатурам для приготовления композиционных материалов на основе алюминия или алюминиевых сплавов и может быть использовано в цветной металлургии для получения упрочненных алюминиевых материалов путем литейных технологий. Композитные материалы на основе алюминия привлекают своими качествами специфической прочностью, стойкостью к трению и высоким температурам. Свойства алюминиевых композитных материалов зависят от размера наполнителя, диспергированного в нем. Наполнитель меньших размеров, в частности, углеродные нанотрубки, обеспечивает достижение лучших свойств материала, однако равномерно диспергировать такой наполнитель чрезвычайно сложно из-за его слишком малых размеров [13].

Изобретение решает задачу создания лигатуры для алюминия и алюминиевых сплавов, позволяющую получать композиционные материалы на основе алюминия или алюминиевых сплавов с углеродными нанотрубками, равномерно распределенными в них. Поставленная задача решается тем, что предлагается лигатура для алюминия и алюминий содержащих сплавов, включающая алюминий и углеродные нанотрубки, поверхность которых содержит адсорбированные газы в таком количестве, что массовое соотношение названных нанотрубок и адсорбированных газов составляет не менее 100, причем, по меньшей мере, часть нанотрубок располагаются в объеме алюминия таким образом, что они не имеют контакта с окружающей средой.

Предлагаемая лигатура может содержать одностенные, и/или двустенные, и/или многостенные углеродные нанотрубки. Лигатура может быть выполнена в форме металлической отливки, внутри которой распределены углеродные нанотрубки. Также лигатура может представлять собой металлическую прессованную, прокатанную или штампованную заготовку, внутри которой распределены углеродные нанотрубки. В своем составе лигатура может содержать, по меньшей мере, один металл из ряда: медь, и/или цинк, и/или магний, и/или олово.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Способ получения упрочненного нанокompозита с дополнительными свойствами [14].
- Установка для синтеза углеродсодержащих наноматериалов [15].

- Способ получения нанопористой керамики на основе муллита [16].
- Графеновые микросферы в виде комка бумаги, композитный материал таких микросфер и способ изготовления таких микросфер [17].
- Способ получения модифицированных углеродных нанотрубок [18].
- Способ получения электролюминесцирующих смешанных свинцово-галлоидных перовскитных материалов с высокой фазовой стабильностью [19].
- Средства определения радионуклидного состава атмосферных выбросов АЭС [20].
- Способ получения термостабильного микропористого покрытия на основе смешанного оксида титана кремния [21].
- Люминесцентный сенсор концентрации ионов тяжёлых металлов (преимущественно кобальта) в воде на основе квантовых точек тройного состава [22].
- Различные аэрозольные фильтры для нейтронно-активационного анализа [23].
- Модифицированная полимерная композиция и способ ее получения [24].
- Диод галлия на основе нитевидных нанокристаллов нитрида галлия [25].
- Теплоизоляционный материал на основе аэрогеля с возможностью введения в состав конечного продукта наноматериалов [26].
- Способ изготовления композиционных материалов на основе Ti-B-Fe , модифицированных наноразмерными частицами AlN [27].
- Фибропористые структуры из растворов полиуретана для производства изделий [28].

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. Кривцов Е.Е., Голик А.М. Патент 2735004 РФ МПК С1. Способ производства сухих строительных смесей / 2020. Бюл. № 30.
2. Сычев А.П., Колесников В.И., Лапицкий В.А. и др. Патент 2735481 РФ МПК С1. Способ лазерной наплавки металлических покрытий / 2020. Бюл. № 31.
3. Rochishnu E., Ramesh A., Ramayya V. V. (2020). Sustainable pavement technologies-performance of high RAP in WMA surface mixture containing nano glass fibers. Materials Today: Proceedings.
4. Подольская Е.П., Кельдиева О.А., Краснов Н.В. и др. Патент 2733530 РФ МПК С1. Устройство для нанесения наночастиц оксидов металлов на металлическую поверхность при нормальных условиях / 2020. Бюл. № 28.
5. Винокуров В.А., Глотов А.П., Гушин П.А. и др. Патент 2733526 РФ МПК С1. Многофункциональная наноструктурированная добавка к покрытиям / 2020. Бюл. № 28.
6. Kantharia, M., Mishra, P. K., Jani, S., & Trivedi, M. K. (2020). Experimental Assessment of cement mortar using nano oxide compounds. Materials Today: Proceedings, 29, 456–461.
7. Дабижа О.Н., Коновалова Н.А., Панков П.П. и др. Патент 2726102 РФ МПК С1. Состав для устройства конструктивных слоев дорожного одежд / 2020. Бюл. № 19.
8. Клинов Д.В., Москалец А.П. Патент 2733457 РФ МПК С1. Способ получения композитных пленок, состоящих из нановолокон / 2020. Бюл. № 28.
9. Lau, D., Jian, W., Yu, Z., & Hui, D. (2018). Nano-engineering of construction materials using molecular dynamics simulations: Prospects and challenges. Composites Part B: Engineering, 143, 282–291.
10. Бикбау М.Я., Хуснутдинов А.М. Патент 2725559 РФ МПК С1. Литая и самоуплотняющаяся бетонная смесь для производства монолитного бетона и сборных изделий из железобетона / 2020. Бюл. № 19.
11. Валеева А.А., Дорошева И.Б., Вохминцев А.С. и др. Патент 2732130 РФ МПК С1. Способ получения фотокатализатора на основе нанотрубулярного диоксида титана / 2020. Бюл. № 26.
12. Setyowati, E. (2014). Eco-building material of styrofoam waste and sugar industry fly-ash based on nano-technology. Procedia Environmental Sciences, 20, 245–253.
13. Предтеченский М.Р., Хасин А.А., Алексеев А.В. Патент 2734316 РФ МПК С9. Лигатура для приготовления композиционных материалов на основе алюминия или алюминиевых сплавов и способ получения лигатуры / 2020. Бюл. № 29.
14. Иванов Л.А., Разумеев К.Э., Бокова Е.С., Муминова С.Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 6. – С. 719–729. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729).

15. Вавилов Е.С. Патент 2732842РФ МПК С1. Установка для синтеза углеродсодержащих наноматериалов / 2020. Бюл. № 27.
16. Морозова Л.В. Патент 2737298 РФ МПК С1. Способ получения нанопористой керамики на основе муллита / 2020. Бюл. № 33.
17. Гао Чао, Чэнь Чэнь, Хань И. Патент 2734476 РФ МПК С1. Графеновые микросферы в виде комка бумаги, композитный материал таких микросфер и способ изготовления таких микросфер / 2020. Бюл. № 29.
18. Иванов Л.А., Бокова Е.С., Муминова С.Р., Катухин Л.Ф. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 1. – С. 27–33. – DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33).
19. Пушкарев А.П., Аношкин С.С., Ляшенко Т.Г., Макаров С.В. Патент 2733933 РФ МПК С1. Способ получения электролюминесцирующих смешанных свинцово-галлоидных перовскитных материалов с высокой фазовой стабильностью / 2020. Бюл. № 28.
20. Vasyanovich M., Vasilyev A., Ekidin A., Kapustin I., Kryshev A. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases // Nuclear Engineering and Technology. – 2019. Т. 51. – № 4. – С. 1176–1179.
21. Горшков А.А., Авдин В.В., Морозов Р.С. Патент 2733936 РФ МПК С1. Способ получения термостабильного микропористого покрытия на основе смешанного оксида титана-кремния / 2020. Бюл. № 28.
22. Дубовик А.Ю., Баранов А.В., Куршанов Д.А. Патент 2733917РФ МПК С1. Люминесцентный сенсор концентрации ионов тяжёлых металлов (преимущественно кобальта) в воде на основе квантовых точек тройного состава / 2020. Бюл. № 28.
23. Zuyev S.V., Afonin A.A., Burmistrov Y.M., Konobeevski E.S., Mordovskoy M.V., Ponomarev V.N., Solodukhov G.V., Kapustin I.A., Pletnikov E.V. Studying the possibility of using different aerosol filters for neutron-activation analysis. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2019. Т. 83. – № 4. – С. 445–448.
24. Лепендин С.В., Сойкин А.С. Патент 2737375РФ МПК С2. Модифицированная полимерная композиция и способ ее получения / 2020. Бюл. № 33.
25. Можаров А.М. Патент 2733700РФ МПК С1. Диод галлия на основе нитевидных нанокристаллов нитрида галлия / 2020. Бюл. № 28.
26. 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](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-275-284).
27. Болоцкая А.В., Михеев М.В., Бажин П.М., Столин А.М. Патент 2737185РФ МПК С1. Способ изготовления композиционных материалов на основе ti-b-fe, модифицированных наноразмерными частицами AlN / 2020. Бюл. № 33.
28. Vasyanovich M., Vasilyev A., Ekidin A., Kapustin I., Kryshev A. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of russian NPP atmospheric releases // Nuclear Engineering and Technology. – 2019. Т. 51. – № 4. – С. 1176–1179.

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, e-mail: LXu@odu.edu

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

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

Муминова Светлана Рашидовна, канд. техн. наук, доцент, Высшая школа сервиса, Российский государственный университет туризма и сервиса; пос. Черкизово, Московская область, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5236-607X>, e-mail: it.rguts@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 03.11.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 07.12.2020.

Статья принята к публикации: 09.12.2020.



Energy resource efficient designs of small-sized water circulating cooling devices

K.E. Bondar* , N.S. Shulaev , S.P. Ivanov , S.V. Laponov

Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak Branch, Sterlitamak, Russia

* **Contacts: e-mail:** kristina88_08@mail.ru

ABSTRACT: Introduction. To use natural sources in rational way, plants of continuous cooling of closed systems of recycling water supply are used. The paper presents designs of small-sized devices for recycling water cooling which are energy resource effective due to twisted motion of air flow, moving countercurrent to the cooled water. Heat and mass transfer is a nanotechnological process that occurs at the intermolecular level. **Methods and materials.** Countercurrent mini cooling towers are widely used in all industries, but there are some disadvantages, the main of which is the insufficient interaction time of the moving phases. Screw motion of air flow is created by the tangential supply of cooling air in the bottom part of cylindrical small-sized cooling tower. The rate of rotary motion decreases as air flow moves up in cooling towers, and vertical parameter of the rate – increases. Such scheme of the air flow motion makes it possible to decrease average vertical parameter of the rate and to increase phases contact time. **Laboratory research.** To determine the technological and hydroaerothermal characteristics, as well as to estimate the efficiency of cooling recycled water, and to carry out mass-heat exchange at the intermolecular stage an experimental facility of small-sized cooling tower with twisted air flow has been developed. **Conclusions.** In accordance with the exponential law it is shown that the rotational component decreases at increasing height, and in accordance with the power law the vertical component increases component with the exponent ~ 1.79 . It is determined that moisture content x and air temperature t_v in the volume of the height of the sprinkler varies according to a power law, in particular for a screw cooling tower proportionally $x \sim h^{0.83}$, $t_v \sim h^{1.25}$. It was determined that the coefficients of mass transfer β_{sv} and heat transfer α_v of a mini cooling tower with twisted air flow at the intermolecular level with equal irrigation densities are 20% higher than the coefficients of a mini cooling tower with counter-current flow. Also it has been determined experimentally a dependence of aerodynamics resistance coefficient of the twisted irrigator of the cooling tower on criterium Re for air flow, and it was determined that it decreases like Re^{-K_2} as the exponent K_2 varies in the range $0.114 \div 0.193$ depending on the irrigation density.

KEYWORDS: nanotechnologies, recycled water cooling, cooling tower, mini cooling tower, sprinkler, aerodynamics.

FOR CITATION: Bondar K.E., Shulaev N.S., Ivanov S.P., Laponov S.V. Energy resource efficient designs of small-sized devices for recycled water cooling. *Nanotechnologies in construction*. 2020;12(6): 339–348. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-339-348.

INTRODUCTION

To provide rational use of natural resources under scarcity of natural sources, one needs to use facilities of continuous cooling of closed systems of recycled water supply. To implement cooling towers is practically the only method of dissipation of low-grade energy into the atmosphere at growing concentration of industrial production [1].

Cooling towers are used in almost all industries, especially its widely used at energy, chemical, oil refining, metallurgical and other industries, since today the removal of low-grade heat at the intermolecular level with

the help of cooling towers is the cheapest way to save at least 95% of fresh water [2].

Since “nanotechnologies are technologies for manipulating matter at the atomic and molecular stage”, and the process of heat and mass transfer in cooling towers runs at the intermolecular stage, it can be considered as a nanotechnological process.

A cooling tower is a device that operates on the principle of counterflow of water and atmospheric air [3]. It is of great importance to search scientific and technical solutions which would allow equipping industrial enterprises with local systems of recycled water cooling (mini cooling towers) which are more mobile, serve specific techno-

logical installations or plants, are less energy intensive, efficient and environmentally friendly. Application of local systems removes the need of long pipeline, also bulkiness of structures, minimizes emissions into the atmosphere.

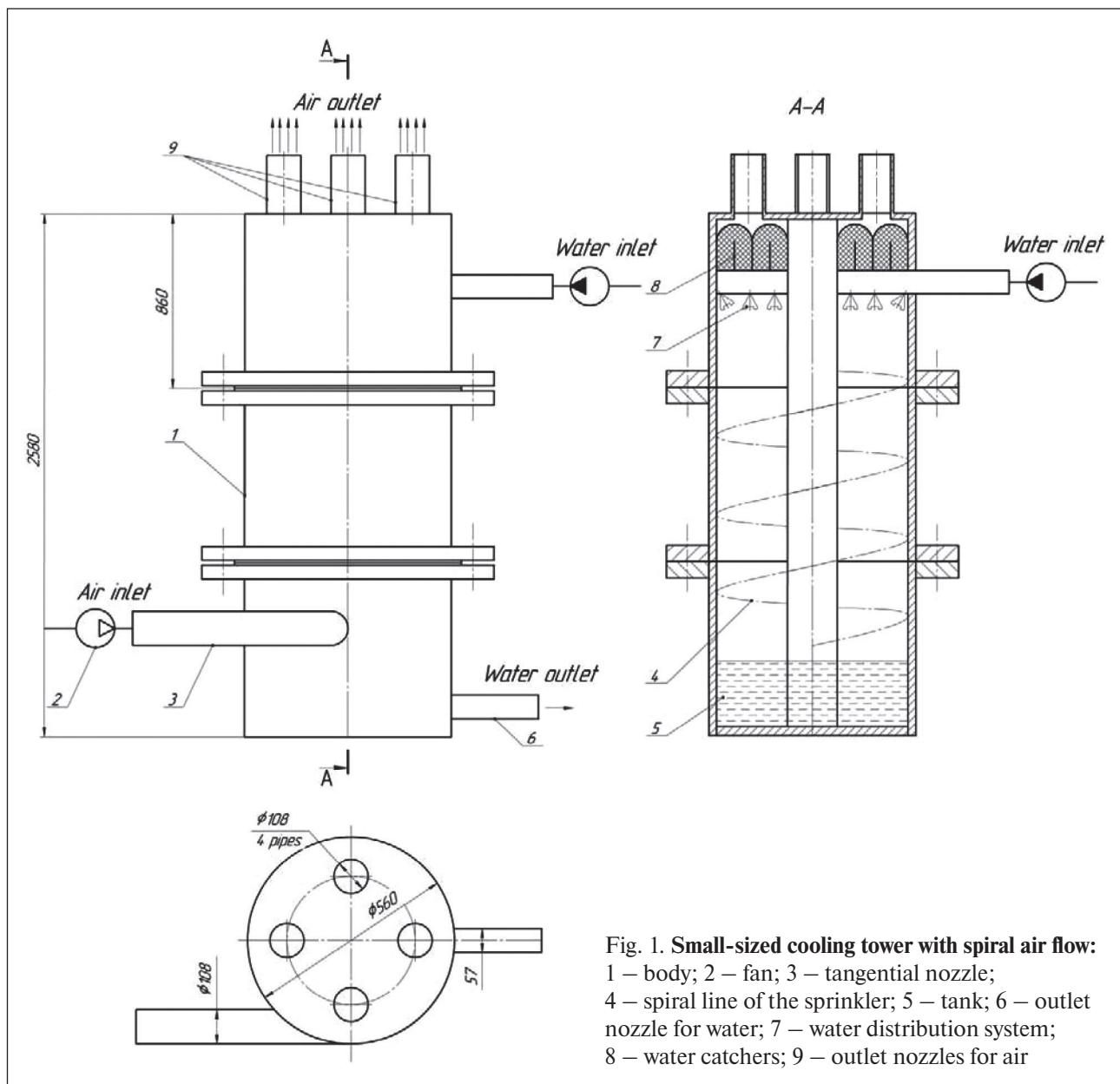
METHODS AND MATERIALS

At the present several types of mini cooling towers are available. They are being actively introduced into production, however one should note some significant disadvantages which don't allow regarding them as a replacement of large systems: low heat removal (due to the counter-current interaction of the ascending steam-air flow and the falling water flow, which does not provide sufficient

time for heat and mass transfer during phase contact); low efficiency of contact devices (sprinklers); large drip-nose [4–8].

The main reason of low efficiency of small-sized devices is short contact time of the cooling air flow and the cooled water flow, which leads to low heat removal values. It is due to small parameters in comparison with fan and tower cooling towers and counter-current mode of interaction of heat exchanging phases.

It is proposed to use a twisted motion of the ascending air flow, which will significantly increase the phase contact time and increase the efficiency of the heat and mass transfer process at the intermolecular stage. The spiral interaction of water flow and air flow leads to increase



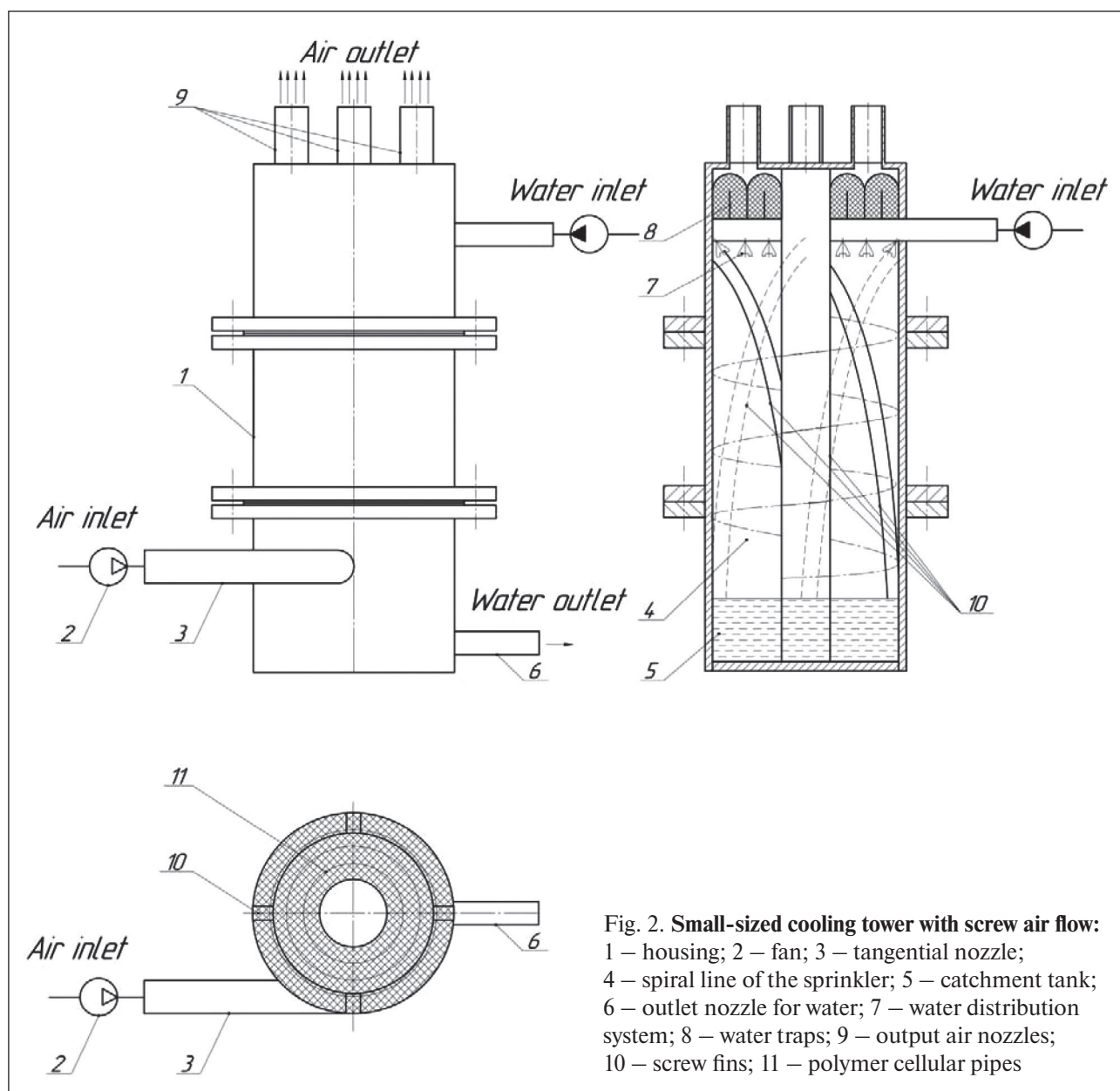
of contact time of vapor and air phases and decrease of cooled water. Figure 1 shows a diagram of a small-sized cooling tower with a spiral air flow, where the sprinkler is made of layers of cylindrical polymer cellular pipes and laid along a spiral line 4 coaxially with the helical air flow line.

The water, heated in the technological process from closed system, is supplied to water distribution system, and then it is evenly distributed in the volume of the spiral sprinkler, where heat and mass exchange of the water and air screw flow created by the fan runs at the intermolecular stage.

The tangential supply of the cooling air flow causes a spiral movement of the gas phase in the bottom part cy-

lindrical small-sized cooling tower. As the air flow moves up, the speed of the rotational movement decreases, and the vertical movement increases. In the upper part of the cooling tower, there is almost no rotation of the air flow and it moves progressively vertically upwards. Such provision of the movement makes it possible to decrease in average the vertical parameter of the rate and to increase phases contact time

The spiral small-sized mini cooling tower with fins is a modification of this construction (Figure 2), which consists of a body with consistently arranged air catcher, water distributor and sprinkler of layers laid along a spiral line of cylindrical polymeric cellular pipes, with a fan installed in the bottom part, a drainage tank. On the inner side



of the cylindrical surface of the cooling tower is installed in the direction perpendicular to the lines of plastic pipes, helical fin 10 consisting of an even number (four or more) of helical strips of width 0.1 diameter towers, offset from each other by the angle $(2\pi/n)$ rad, where n is the number of helical stripes, with a pitch of a spiral in two heights of the cooling tower the cooling tower.

Water from recycled system, heated in the technological process go to water distribution system 7, thanks to which is evenly distributed over the cross-section of the helical line of the sprinkler 4 and over the surface of the cellular pipes 11 of the sprinkler, on which the heat exchange of the water flow with the helical air flow forced by the fan 2 takes place. Water flows down on the sprinkler, where it is cooled under the drip-film flow mode and then enters the water catchment tank 5. The efficiency of the proposed cooling tower is due to the fact that a screw fins 10 passes through the entire working volume of the cooling tower, which helps to maintain the rotational movement of the air flow, increasing the contact time of the cooling air and the cooled water flows.

Thus, the proposed designs of small-sized devices are an alternative to the existing bulky water circulation systems and mini-towers with countercurrent phase movement. The proposed designs will reduce drop loss by increasing the efficiency of contact devices [9–13] and the low temperature of the cooled water, increasing the contact time of the phases.

To estimate the change in the rotational and translational components of the velocity along the height of the cooling tower, we use the equation of continuity of the flow [14] in a cylindrical coordinate system, the z axis of which coincides with the axis of symmetry of the cylindrical cooling tower. In a cylindrical coordinate system with impenetrable walls, the radial component of the velocity is negligible ≈ 0 .

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \vartheta_{\theta} + \frac{\partial}{\partial z} \vartheta_z = 0, \quad (1)$$

where r – is the distance from the axis of rotation, m;
 ϑ_{θ} – rotational component of the speed, m/s;
 ϑ_z – vertical component of the speed, m/s.

The rotational speed is determined by the ratio:

$$\vartheta_{\theta} = \omega \cdot r, \quad (2)$$

where ω – is the angular velocity of rotation of the air flow, rad/s;

Taking into account that ϑ_z component of air rate in the inlet of the cooling tower is zero, and grows with increasing altitude, we will seek a solution to equation (1) in the form:

$$\vartheta_z = \frac{4G_v}{\pi D^2} \left(\frac{z}{H} \right)^n, \quad (3)$$

where G_v – is the volumetric air flow, m³/s;

D – diameter of the cooling tower, m;

H – height of the cooling tower, m;

n – the exponent.

Substituting expressions (2) and (3) into the continuity equation, we obtain:

$$\frac{\partial \omega}{\partial \theta} + \frac{4nG_v}{\pi D^2} \frac{z^{n-1}}{H^n} = 0. \quad (4)$$

By entering the notation $A = 4G_v/\pi D^2$ and taking into account that $\partial \theta = \omega \partial \tau$ (τ – the time of the air flow in the cooling tower), equation (4) takes the form:

$$\frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} + \frac{An}{H^n} z^{n-1} = 0. \quad (5)$$

By solving equation (4), you can determine the change in the angular velocity of the air flow along the height of the cooling tower and the time spent in it:

$$\omega = \omega_0 e^{-\frac{An z^{n-1}}{H^n} \tau}, \quad (6)$$

where ω_0 – is determined by the design parameters of the cooling tower:

$$\omega_0 = \frac{4G_v}{\pi d^2 R}. \quad (7)$$

where d – is the diameter of the inlet pipe, m;

R – radius of the cooling tower, m.

As can be seen from the last relation, as you move up the cooling tower, the angular velocity of the air flow decreases exponentially. Taking in account that $z = H\omega \rightarrow 0$, will determine characteristic time of air flow staying in the cooling tower [15].

In accordance with determination of time of transient processes we will get:

$$\omega(z = H) = \frac{\omega_0}{e^5} \rightarrow 0. \quad (8)$$

In this case, the characteristic residence time of the air flow in the cooling tower is determined by the ratio:

$$\tau = \frac{5H}{An} = \frac{5\pi D^2}{4G_v n}. \quad (9)$$

Knowing the staying time of the air flow in the cooling tower, you can determine the average height of the longitudinal speed of movement:

$$\langle \vartheta_z \rangle = \frac{H}{\tau} = \frac{An}{5}. \quad (10)$$

On the other hand, the average altitude speed can be calculated using the formula:

$$\langle \vartheta_z \rangle = \frac{1}{H} \int_0^H \vartheta_z(z) dz = \frac{1}{H} \int_0^H A \left(\frac{z}{H} \right)^n dz = \frac{A}{n+1}. \quad (11)$$

Comparing expressions (10) and (11), we obtain the relation for determining the exponent of n :

$$\frac{n}{5} = \frac{1}{n+1}, \quad (12)$$

from which it follows that $n = 1.79$.

Thus, in a cooling tower with tangential input of cooling air, a “screw” movement of the air flow is realized, while the angular speed of rotation decreases along the height of the cooling tower according to the exponential law (6), and the linear speed increases with increasing z coordinate according to the power law:

$$\vartheta_z \approx \frac{4G_v}{\pi D^2} \left(\frac{z}{H}\right)^{1.79}. \quad (13)$$

Taking into account that staying time of air flow in cooling tower is connected with z coordinate by the formula $\tau = z/\langle \vartheta \rangle$, we can convert the ratio (6) to determine the angular velocity of rotation:

$$\omega = \omega_0 e^{-5\left(\frac{z}{H}\right)^n}. \quad (14)$$

LABORATORY RESEARCHES

To determine the technological and hydroaerothermal characteristics, as well as to evaluate the efficiency of cooling recycled water, an experimental installation “small-sized cooling tower” with a screw air flow was developed [16, 17].

Aerodynamic tests were carried out to determine the coefficient of aerodynamic resistance ζ of the sprin-

kler for a small-sized cooling tower with a screw flow and a counter-current mini-tower, and depending on the technological parameters. Hydroaerothermal tests were performed to determine changes in the temperature of circulating water and the coefficients of heat and mass transfer at the intermolecular level.

The experiments were carried out at irrigation densities up to $q = 12 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, the speed of the ascending air flow w varied from 0.5 to 3 m/s, and the water temperature supplied to the installation t_2 reached 30°C .

The following method was used for hydroaerothermal testing of the cooling tower sprinkler. Water was sent to the hot water tank using a circulation pump, where it was heated by electric heaters to a temperature of $40^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ and fed through electro acoustic flow converters through a pressure pipeline to the water distribution system [18–20].

The water distribution system (irrigation density up to $q = 12 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$) distributed the water flow over the irrigation area of the working section of the installation. The air flow directed towards it at a speed of 0.5...3 m/s was created by a centrifugal tangential fan. Air was supplied to the experimental unit through a tangential pipe located in the lower part of the body. The water, cooled in the facility, went to water collecting tank 7 and was supplied to tank 4 by the pump for next heating. The water cycle was closing.

During the experiments, the water temperature was recorded by a multifunctional device AMI-301 at the entrance and exit of the installation. During 15 minutes of operation of the unit (to warm up the system), the following parameters were set: water flow-by changing the speed of the pump engine and throttling, air flow-by opening

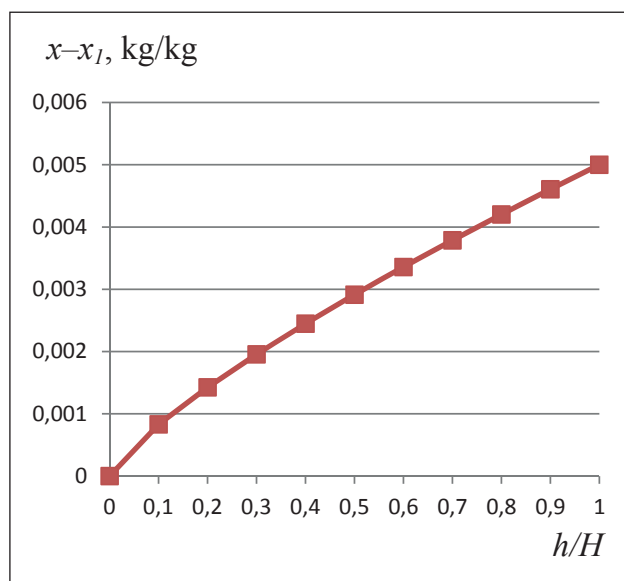


Fig. 3. Change in moisture content by height of the sprinkler

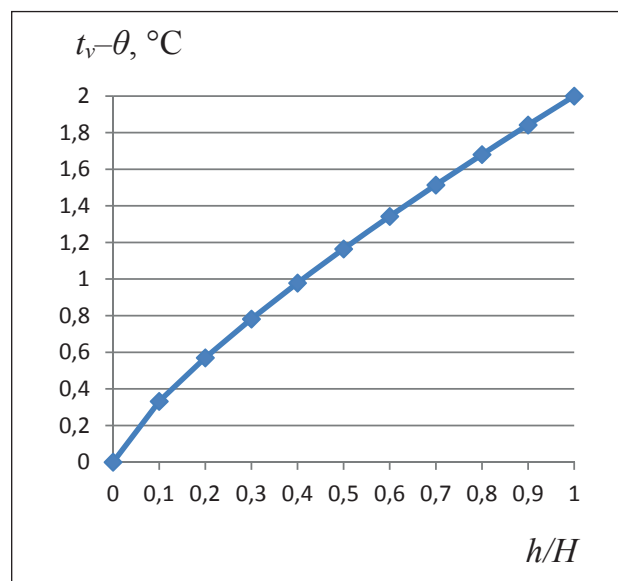


Fig. 4. Change in the air temperature drop along the height of the sprinkler

and closing the gate valve, the speed was determined by the AMI-301 device. Atmospheric parameters, namely humidity and air temperature, were constantly monitored.

To measure the water temperature with the AMI-301 device, it was taken directly under the sprinkler with additional control with a mercury thermometer (TGL 11 998, accuracy class 1.66, scale division 0.2), at the specified values of irrigation density q and air flow. Then the waste water went to reservoir for heating, and the experiment was repeated for the next parameters of the irrigation density and air consumption [21, 22].

Studies to determine the Aerohydrodynamic characteristics were also carried out using the above method, but with the addition of measurements for pressure losses in the air flow before and after the sprinkler.

From the analysis of experimental data for the developed designs of cooling towers, it follows that the moisture content x and the air temperature t_v in the volume of the height of the sprinkler changes according to a power law (and not according to a linear law, as was believed by other researchers).

$$x(h) = x_1 + k_1 h^a, \quad (15)$$

$$t_v(h) = \theta + k_2 h^b, \quad (16)$$

$$\text{where } k_1 = (x_2 - x_1)/H^a; k_2 = (t_{v2} - \theta)/H^b; \\ 0 \leq h \leq H. \quad (17)$$

Constants a and b are found experimentally from the dependencies $x(h)$, $t_v(h)$ (Figures 3, 4) in logarithmic interpretation (Figure 5).

The curves in logarithmic coordinates represent linear dependencies, and the tangent of the slope angle corresponds to the exponents: $a = 0.83$, $b = 1.25$.

The mass transfer coefficient can be calculated from the given formulas:

$$\beta_{xv} = \frac{G_j C_j \Delta t}{K \left\{ \frac{(t_{v2} - \theta)(c_{vc} + c_p x_1)}{b+1} + (r + c_p \theta) \left[(x_2 - x_1) + (x_1 - x_1) \frac{a}{a+1} \right] + c_p \frac{(x_2 - x_1)(t_{v2} - \theta)}{a+b+1} \right\}}. \quad (18)$$

The mass transfer β_{xv} and heat transfer coefficients α_v can be estimated from experimental data (tables 1 and 2).

The analysis of obtained dependencies allows making the following conclusions:

– mass β_{xv} and heat transfer coefficient α_v of the researched twisted mini cooling tower at the equal densities of irrigation and rates of upward air flow rates of 2 m/s exceed the countercurrent coefficients by 20%;

Having starting since irrigation density $q = 8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, mass transfer coefficient β_{xv} of twisted mini cooling tower has the greatest value and is kept at the same level.

To compare of recycled water cooling efficiency in a mini cooling tower with twisted air flow and countercurrent cooling tower, there were built comparative graphical ratios of the relative difference in water temperature from the air flow rate (Figure 6). The relative temperature drop of recycled water was determined by the formula:

$$\eta = (t_1 - t_2)/t_1. \quad (22)$$

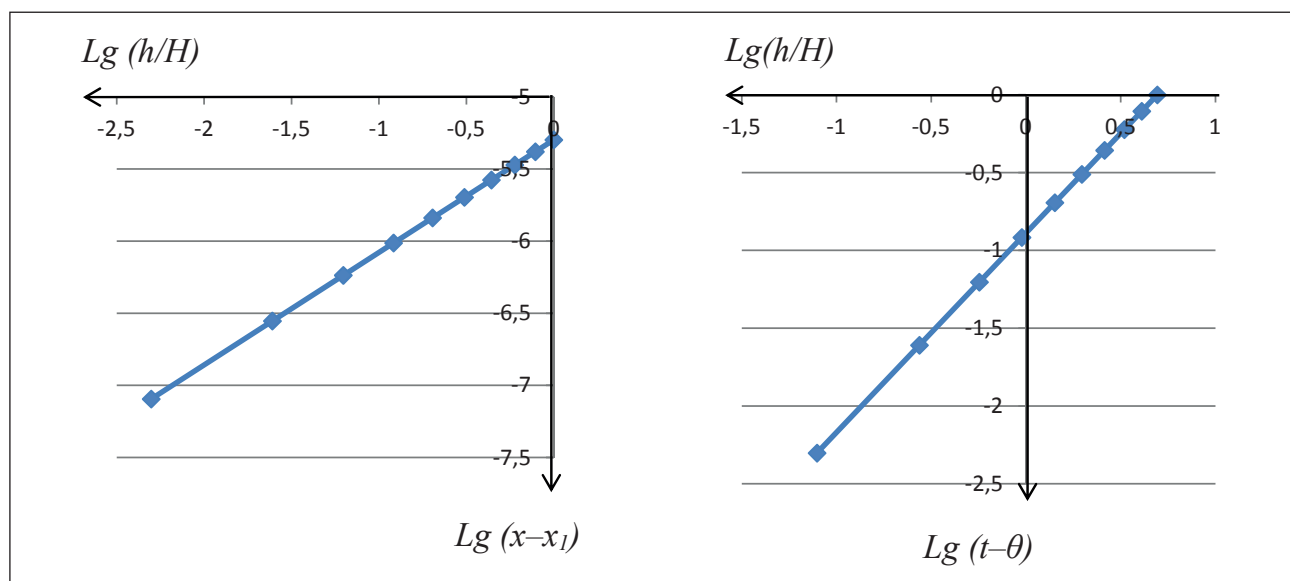


Fig. 5. Change in the difference in moisture content and temperature over the height of the sprinkler in logarithmic interpretation

Table 1

Results of research on a laboratory installation of a mini-tower with a screw air flow

№ Experience's	1	2	3	4	5	6
The density of irrigation q , $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	2	4	6	8	10	12
Inlet air temperature θ , $^{\circ}\text{C}$	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
Outlet air temperature t_{v2} , $^{\circ}\text{C}$	15.3	16.8	16.9	17.0	17.2	16.8
Ambient air humidity φ_1 , %	60	60	60	60	60	60
Humidity at the outlet of the cooling tower φ_2 , %	77	78	79	79	80	80
Change in air enthalpy Δi , J/kg	15130.5	17150.3	17418.1	17611.7	18048.5	18048.5
Inlet water temperature t_1 , $^{\circ}\text{C}$	27.5	27.6	27.5	27.5	27.6	27.5
Outlet water temperature t_2 , $^{\circ}\text{C}$	20.0	18.9	18.0	17.8	17.7	17.7
Thermal power Q , W	6930.0	7946.4	8778.0	8962.8	9147.6	9055.2
Heat transfer coefficient α_v , $\text{W}/\text{m}^3\text{K}$	1534.4	1552.2	1688.3	1704.8	1708.5	1708.5
Mass transfer coefficient β_{xv} , $\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$	1.53	1.54	1.68	1.70	1.70	1.70

Table 2

Results of research on the laboratory device of a mini cooling tower with a counterflow current

№ Experience's	1	2	3	4	5	6
The density of irrigation q , $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	2	4	6	8	10	12
Inlet air temperature θ , $^{\circ}\text{C}$	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
Outlet air temperature t_{v2} , $^{\circ}\text{C}$	16.3	16.3	16.4	16.5	16.6	16.4
Ambient air humidity φ_1 , %	60	60	60	60	60	60
Humidity at the outlet of the cooling tower φ_2 , %	75	75	75	76	77	77
Change in air enthalpy Δi , J/kg	17168.9	17168.9	18028.5	18444.1	18366.6	18028.5
Inlet water temperature t_1 , $^{\circ}\text{C}$	27.5	27.5	27.5	27.5	27.6	27.5
Outlet water temperature t_2 , $^{\circ}\text{C}$	21.5	20.2	19.6	19.4	19.6	19.6
Thermal power Q , W	5544.1	6837.6	7392.1	7207.2	7114.8	7207.2
Heat transfer coefficient α_v , $\text{W}/\text{m}^3\text{K}$	1081.7	1334.2	1359.4	1359.4	1356.7	1356.4
Mass transfer coefficient β_{xv} , $\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$	1.08	1.33	1.35	1.35	1.35	1.35

The analysis of the obtained dependences as a result of experimental studies allows us to draw the following conclusions:

- for the studied small-sized cooling towers in the range of upward air flow speeds up to 0.7 m/s, the relative difference in water temperature for screw and counter-current cooling towers differs slightly;
- in the range of air flow rates since 0.8 to 2.4 m/s, there is an increase in the value of the relative temperature drop of water in a mini-tower with a helical flow relative to the countercurrent;
- at the further increase of air flow rate, the efficiency of the spiral mini cooling tower exceeds the counter-current ~23%.

During aerodynamic tests, the coefficient of aerodynamic resistance ξ_{aer} was calculated using the Weisbach formula.

From experimental data, it follows that in the range of air flow velocity of 0.5–3 m/s and irrigation density of 0 – 12 $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, the coefficient ξ_{aer} values for the investigated nozzle devices of a mini-tower with a screw flow and a counter-current mini-tower are in the range 12 to 24 m^{-1} .

Thus, the dependence of the coefficient of aerodynamic drag on the air flow velocity for the studied designs of sprinklers can be represented as:

$$\lg \xi_{\text{aer}} = K_1 - K_2 \lg Re, \quad (23)$$

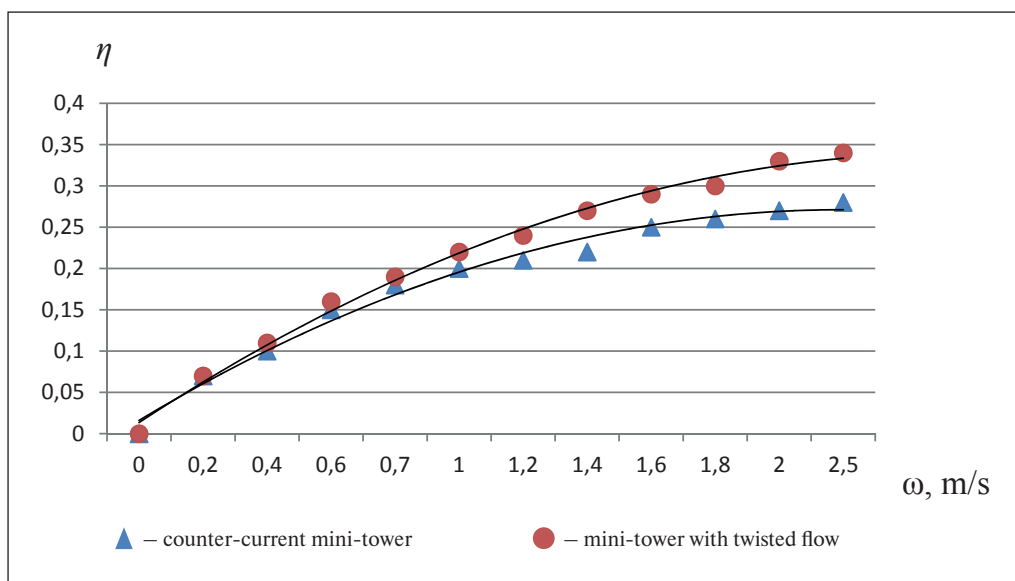


Fig. 6. Dependence of the relative temperature drop of recycled water on the air flow velocity

where ξ_{aer} – is the coefficient of aerodynamic drag of the sprinkler, m^{-1} ;

Re – Reynolds number;

K_1, K_2 – coefficients.

The General formula for determining the coefficient of aerodynamic drag depending on the Reynolds criterion for irrigation densities of $0\text{--}12 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ is as follows:

$$\xi_{\text{aer}} = e^{2,3K_1} / Re^{K_2}, \quad (24)$$

where e – is the base of the natural logarithm;

K_1, K_2 – coefficients.

CONCLUSIONS

1. The designs of small sized devices of recycled water cooling with drop-film sprinkler of polymeric materials have been developed. The use of these devices will make it possible to increase an efficiency of nanotechnological process of mass-heat transfer on molecular stage

2. To carry out aerodynamic and hydro aero thermal tests of screw of small-sized device for recycled water cooling an experimental facility has been made. It was also

determined the theoretical dependence of rotational and vertically translational parameter of the air flow rate on the height of the cooling tower. It is shown that rotational parameter decreases as the height increases in accordance with exponentially law, and the vertical component increases according to the power law with the exponent $\sim 1,79$.

3. It was determined that the moisture content x and air temperature t_v in the volume of the height of the sprinkler h varies according to a power law, in particular for a screw cooling tower proportionally $h^{0,83}$ (for the moisture content), $h^{1,25}$ (for air temperature). It was determined that the coefficients of mass transfer β_{xy} and heat transfer α_v of a screw mini-tower at the intermolecular level with equal irrigation densities are 20% higher than the coefficients of a counter-current mini-tower.

4. It was revealed experimentally a dependence of aerodynamics resistance coefficient of the twisted irrigator of the cooling tower on criterium Re for air flow Re^{-K_2} , and determined that it decreases as the exponent K_2 varies in the range $0.114\div 0.193$ depending on the irrigation density.

REFERENCES

1. Ivanov S.P., Ibragimov I.G., Bondar K.E., Ivanov O.S. Improving the efficiency of heat and mass transfer processes in water circulation cycles of industrial enterprises. *Chemical and oil and gas engineering*. 2014;12: 31. (In Russian).

2. Ivanov S.P., Ibragimov I.G., Bondar K.E., Ivanov O.S. Experimental facility for research of hydroaerothermal characteristics of sprinklers and water catchers of cooling towers. *Chemical and oil and gas engineering*. 2015; 1: 3. (In Russian).
3. Abramov N.N. *Water supply: textbook for Universities*. 3rd edition. Moscow: Stroizdat; 1982.
4. Goncharov V.V. New technical solutions for tower and fan cooling towers. *Chemical engineering*. 2006; 6: 15–18.
5. Design features of the Dewdrop cooling tower. Available from: <https://tecopro.ru/>
6. Solovyov A.A. Improving the efficiency of using low-potential heat in energy production. *Modern science and innovation*. 2017; 3 (19): 140–146.
7. Fedyaev V.L., Bogatkin V.I., Vlasov E.M. Improvement of evaporative cooling towers for recycling water supply systems for industrial enterprises. *Power Engineering of Tatarstan*. 2011; 2: 44–47. (In Russian).
8. Pushnov A.S., Sokolov A.S., Butrin M.M. Methods for intensifying the process of heat and mass exchange in column apparatuses with contact devices. *Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI*. 2013; 1 (15): 237–242. (In Russian).
9. Bondar K.E., Ivanov O.S. Improving the design of water catchers for industrial cooling towers to reduce chemical emissions into the atmosphere. In: Geology and oil and gas potential of the West Siberian megabasin (experience, innovations): Proceedings of the Ninth International scientific and technical conference. ed. by O.A. Novoselov. Vol. 2. Tyumen: Tyumen State Petroleum Technological University; 2014. p. 250–252.
10. Bondar K.E., Ivanov O.S. Improving the designs of water traps in order to reduce droplet entrainment from industrial cooling towers. *Low-waste, resource-saving chemical technologies and environmental safety: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Sterlitamak: Phobos; 2013. 223.
11. Bondar K.E., Ivanov S.P., Laponov S.V., Ibragimov I.G., Ivanov O.S. Forming extrusion equipment for the production of a mesh shell. In: Modern technologies in the oil and gas industry-2014: Proceedings of the international scientific and technical conference, 2 vols. Vol. 2. Ufa: Arkaim; 2014. p. 65–69.
12. Ivanov S.P., Bondar K.E., Suleymanov D.F., Shulaev N.S., Ibragimov I.G. *Cooling tower sprinkler*. Utility model patent RF 147330.2014-11-10.
13. Ivanov S.P., Boyev E.V., Storozhenko V.N., Izmailov S.P., Gerasimov V.V., Ryzhakov G.G., Lezhnev M.L. *Cooling tower sprinkler*. Patent RF 2295685. 2007-03-20.
14. Alexandrov D.V. *Applied hydrodynamics*. Moscow: Yurayt; 2018.
15. Bondar K.E., Shulaev N.S., Suleimanov D.F., Ivanov S.P., Podtspnyak E.S. Distribution of air flow rates in a small-sized cooling tower with tangential air supply. *Natural and technical Sciences*. 2019; 11: 411–414.
16. Bondar K.E., Ivanov S.P., Ibragimov I.G. and et al. *Small-sized cooling tower*. Patent RF 182965. 2018-09-06.
17. Ivanov S.P., Bondar K.E., Suleymanov B.A. et al. *Cooling tower sprinkler*. Patent RF 147330. 2014-11-10.
18. Ivanov S.P., Ibragimov I.G., Bondar K.E., Ivanov O.S. Experimental facilities for research of hydroaerothermal characteristics of sprinklers and water catcher cooling towers. *Chemical and oil and gas engineering*. 2015; 1: 3–5.
19. Bondar K.E. Technique carrying out of hydro aero-thermal and aerohydrodynamic tests of sprinkler of tubular mini cooling tower. In: Modern technologies in education and industry: from theory to practice: Collection of materials. Intra-university scientific and practical conference. Ufa: Oil and Gas Business; 2018. p. 158–159.
20. Ivanov S.P., Boev E.V., Nikolaev E.A. Method of hydroaerothermal testing of cooling tower sprinklers. *Technique and technology*. 2007; 3: 118–119.
21. Kluyko V.V., Kholpanov L.P. Research and calculation of hydrodynamic characteristics of regular contact devices in mass transfer columns. *Chemical and oil and gas engineering*. 2004; 5: 19–23.
22. Kalatuzov V.A. Improving the available capacity and efficiency of Perm CHPP-14 by reconstructing cooling towers. *Refining and petrochemicals*. 2004; 8: 17–20.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kristina Y. Bondar, Senior Lecturer of the Department «Facilities of Petrochemical Plants», Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak Branch, Sterlitamak, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9754-5335>, e-mail: kristina88_08@mail.ru

Nikolay S. Shulayev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of «Computer Science, Mathematics, Physics», Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak Branch, Sterlitamak, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3595-6948>, e-mail: nshulayev@rambler.ru

Sergey P. Ivanov, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department «Equipment for Petrochemical Plants», Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak Branch, Sterlitamak, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0642-2541>, e-mail: isp-777@yandex.ru

Sergey V. Laponov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department «Equipment for Petrochemical Plants», Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak Branch, Sterlitamak, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8195-6474>, e-mail: laponows92@mail.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 14.10.2020.

Revised: 24.11.2020.

Accepted: 28.11.2020.



Энергоресурсоэффективные конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды

К.Е. Бондарь* , Н.С. Шулаев , С.П. Иванов , С.В. Лапонов

Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамаке, г. Стерлитамак, Россия

* Контакты: e-mail: kristina88_08@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Для рационального использования природных ресурсов применяются установки непрерывного охлаждения замкнутых систем оборотного водоснабжения. В статье представлены конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды, они являются энергоресурсоэффективными за счет организации винтового движения воздушного потока, движущегося противотоком к охлаждаемой воде. Теплообмен является нанотехнологическим процессом, который осуществляется на межмолекулярном уровне. **Методы и материалы.** Противоточные миниградирни широко используются во всех отраслях промышленности, но они имеют ряд недостатков, основным из которых является недостаточное время взаимодействия движущихся фаз. Винтовое движение воздушного потока создается при тангенциальной подаче охлаждающего воздушного потока в нижней части цилиндрической малогабаритной градирни. По мере перемещения воздушного потока вверх по градирне скорость вращательного движения уменьшается, а вертикальная составляющая скорости увеличивается. Такая организация движения воздушного потока позволяет уменьшить в среднем вертикальную составляющую скорости и увеличить время контакта фаз. **Лабораторные исследования.** Для определения технологических, гидроаэротермических характеристик, а также для оценки эффективности охлаждения оборотной воды была разработана экспериментальная установка малогабаритной градирни с винтовым воздушным потоком для осуществления теплообмена на межмолекулярном уровне. **Выводы.** Показано, что вращательная составляющая убывает с увеличением высоты по экспоненциальному закону, а вертикальная составляющая возрастает по степенному закону с показателем степени $\sim 1,79$. Установлено, что влагосодержание x и температура воздуха t_g в объеме по высоте h оросителя изменяется по степенному закону, в частности для винтовой градирни пропорционально $x \sim h^{0,83}$, $t_g \sim h^{1,25}$. Определено, что коэффициенты теплоотдачи $\beta_{\text{хв}}$ и теплоотдачи α_v винтовой миниградирни на межмолекулярном уровне при равных плотностях орошения больше коэффициентов противоточной миниградирни на 20%. Экспериментально определена зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления винтового оросителя градирни от критерия Re для воздушного потока и установлено, что он уменьшается как Re^{-k_2} , показатель степени k_2 изменяется в интервале $0,114 \div 0,193$ в зависимости от плотности орошения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии, охлаждение оборотной воды, градирня, миниградирня, ороситель, аэродинамика.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бондарь К.Е., Шулаев Н.С., Иванов С.П., Лапонов С.В. Энергоресурсоэффективные конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 339–348. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-339-348.

ВВЕДЕНИЕ

Для рационального использования природных ресурсов применяются установки непрерывного охлаждения замкнутых систем оборотного водоснабжения при дефиците природных ресурсов. В условиях растущей концентрации промышленных производств применение градирен — практически

единственный метод рассеивания низкопотенциальной энергии в атмосферу[1].

Градирни применяются практически во всех отраслях промышленности, особенно велико их использование в энергетической, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и других, поскольку на сегодняшний день отвод низкопотенциального тепла на межмолекулярном уровне

с помощью градирен — самый дешевый способ, позволяющий сэкономить не менее 95% свежей воды [2].

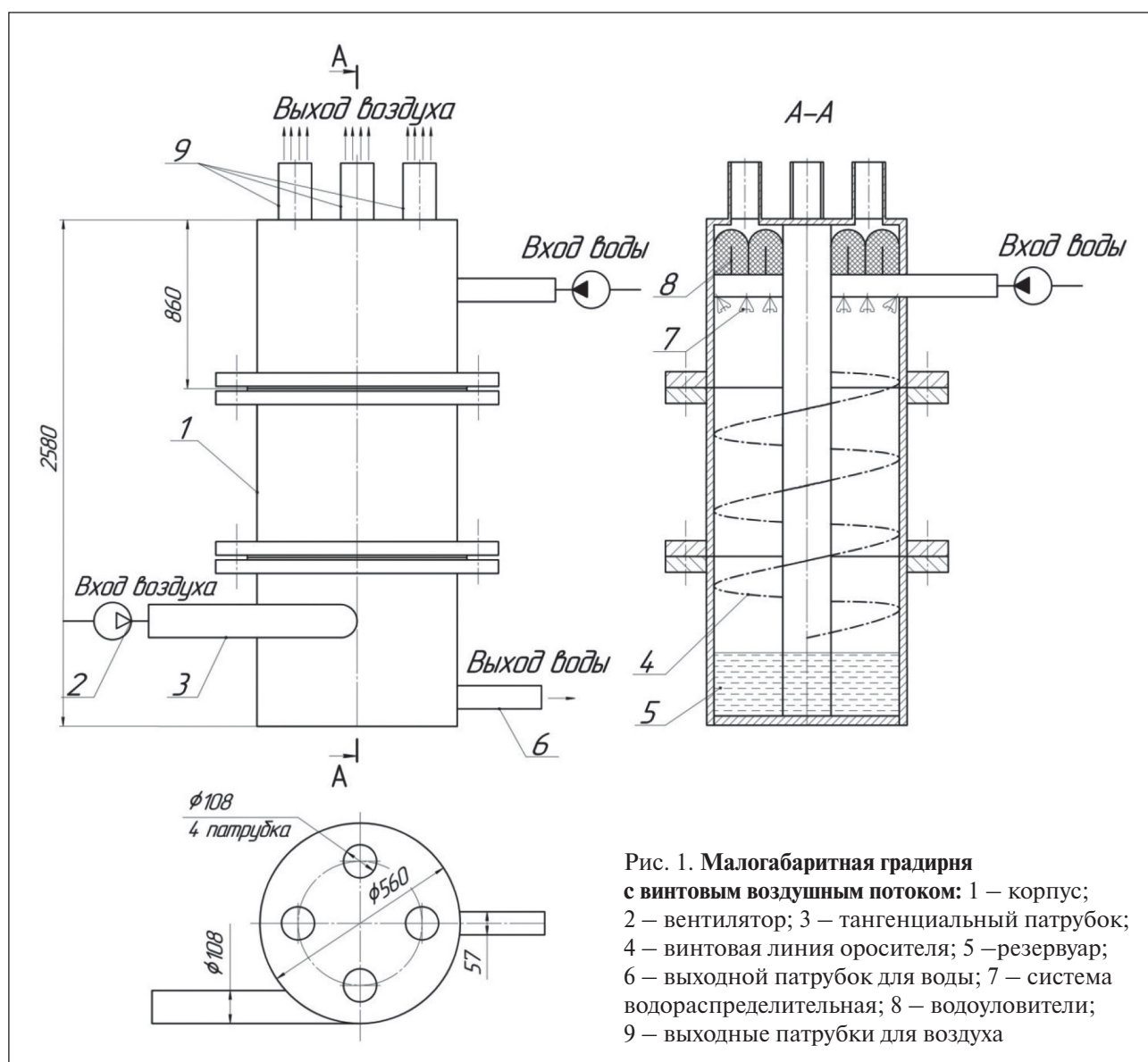
Так как «нанотехнологии — это технологии манипулирования веществом на атомном и молекулярном уровне», а процесс тепломассообмена в градирах происходит на межмолекулярном уровне, то он является нанотехнологическим процессом.

Градирия представляет собой устройство, работающее по принципу противотока воды и атмосферного воздуха [3]. Актуальным является поиск научно-технических решений, позволяющих перевести промышленные предприятия на локальные системы охлаждения оборотной воды (миниградири), которые более мобильны, обслуживают конкретные технологические установки или аппараты, менее

энергоёмки, эффективны и экологически безопасны. Переход на локальные системы исключает протяженные сети трубопроводов, громоздкость конструкций, минимизирует выбросы в атмосферу.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время производится несколько типов миниградирен, которые активно внедряются в производство, однако они имеют ряд существенных недостатков, которые не допускают их применение как замену громоздких систем: малый теплосъем (обусловлен противоточным взаимодействием восходящего паровоздушного потока и ниспадающего водного, которое не обеспечивает достаточного времени для тепломассообмена при контакте фаз);



малая эффективность контактных устройств (оросителей); большой каплеунос [4–8].

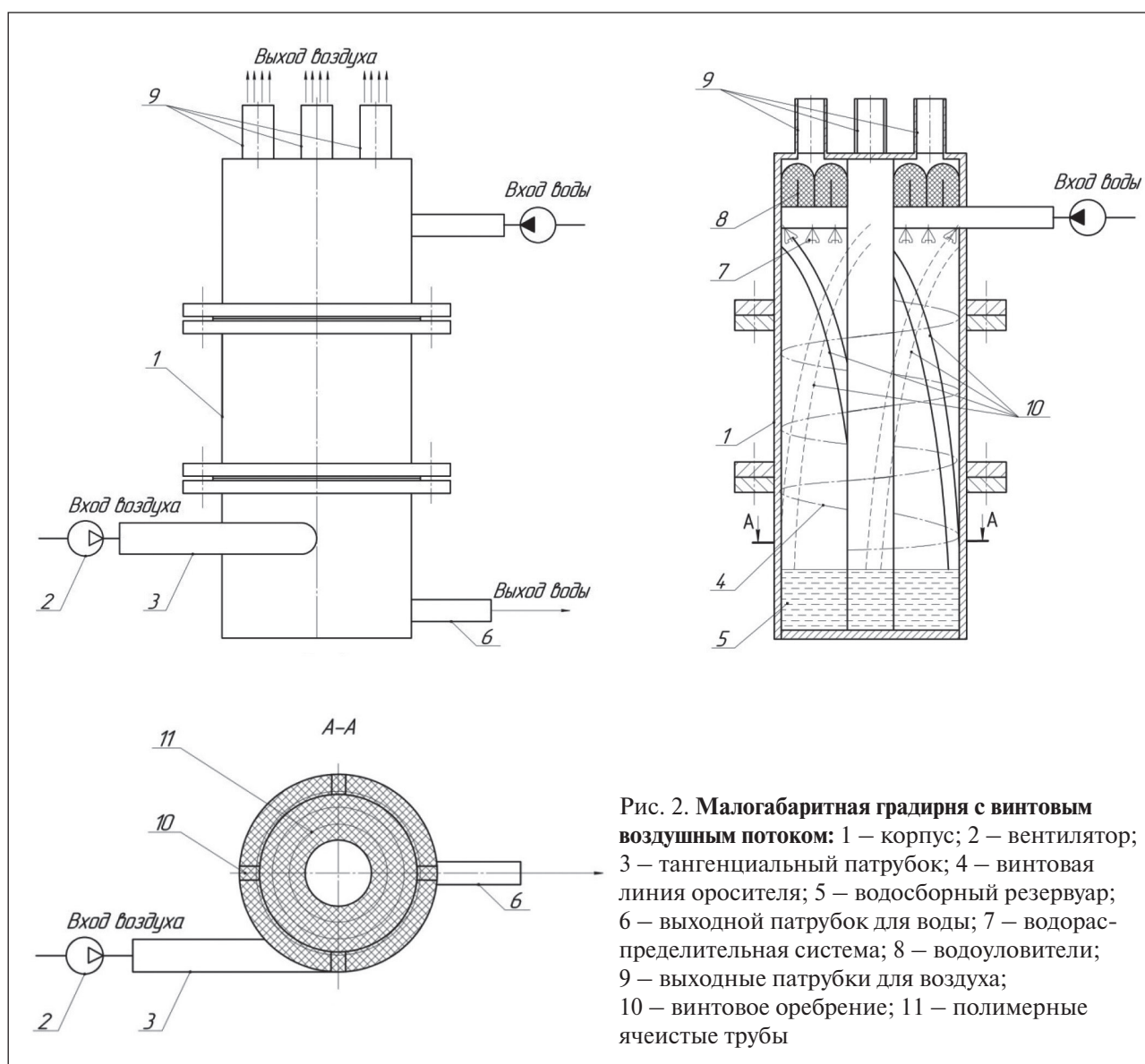
Основной причиной низкой эффективности малогабаритных аппаратов является непродолжительное время контакта охлаждающего воздушного потока и охлаждаемого водного потока, что приводит к невысоким значениям теплосъема. Это связано с малыми габаритными размерами по сравнению с вентиляторными и башенными градирнями и противоточным режимом взаимодействия теплообмениваемых фаз.

Предлагается использовать винтовое движение восходящего воздушного потока, что значительно увеличит время контакта фаз и повысит эффективность теплообменного процесса на межмолекулярном уровне. Винтовое взаимодействие водных

и воздушных потоков приводит к увеличению времени контакта паровой и воздушной фаз и уменьшению температуры охлаждаемой воды. На рис. 1 показана схема малогабаритной градирни с винтовым потоком воздуха, где ороситель выполнен из слоев цилиндрических полимерных ячеистых труб и уложен по винтовой линии 4 соосно линии винтового потока воздуха.

В водораспределительную систему подводится нагретая в технологическом процессе вода из замкнутого контура системы, которая равномерно распределяется по всему объему уложенного по спирали оросителя, где происходит на межмолекулярном уровне теплообмен водного и воздушного винтового потока, создаваемого вентилятором.

При тангенциальной подаче охлаждающего воздушного потока в нижней части цилиндрической ма-



логабаритной градирни создается винтовое движение газовой фазы. По мере продвижения воздушного потока вверх скорость вращательного движения уменьшается, а вертикального — увеличивается. В верхней части градирни вращение воздушного потока практически отсутствует, и он движется поступательно вертикально вверх. Такая организация движения воздушного потока позволяет уменьшить в среднем вертикальную составляющую скорости и увеличить время контакта фаз.

Модификацией этой конструкции является винтовая малогабаритная градирня с оребрением (рис. 2), которая содержит корпус с расположенными последовательно водоуловителем, водораспределителем и оросителем из слоев, уложенных по винтовой линии цилиндрических полимерных ячеистых труб, с установленными в нижней части вентилятором, водосборным резервуаром. С внутренней стороны цилиндрической поверхности градирни в установленном в направлении, перпендикулярном линии полимерных труб, винтовое оребрение 10, состоящее из четного количества (четырех и более) винтовых полос шириной 0,1 диаметра градирни, смещенных относительно друг друга на угол $(2\pi/n)$ рад, где n — число винтовых полос, с шагом спирали в две высоты градирни.

Нагретая в технологическом процессе вода из оборотной системы подается в водораспределительную систему 7, при помощи которой равномерно распределяется по поперечному сечению винтовой линии оросителя 4 и по поверхности ячеистых труб 11 оросителя, на которой происходит теплообмен водного потока с винтовым воздушным потоком, нагнетаемым вентилятором 2. Вода стекает по оросителю, где охлаждается при капельно-пленочном режиме течения и далее поступает в водосборный резервуар 5. Эффективность предложенной градирни обуславливается тем, что по всему рабочему объему градирни проходит винтовое оребрение 10, способствующее поддержанию вращательного движения воздушного потока, увеличивающему время контакта охлаждающего воздушного и охлаждаемого водного потоков.

Таким образом, предложенные конструкции малогабаритных аппаратов являются альтернативой действующим громоздким системам водооборота и миниградирням с противоточным движением фаз. Предлагаемые конструкции позволяют уменьшить каплеунос за счет повышения эффективности контактных устройств [9–13] и низкой температурой охлажденной воды, увеличения времени контакта фаз.

Для оценки изменения вращательной и поступательной составляющих скорости по высоте градирни воспользуемся уравнением неразрывности потока [14] в цилиндрической системе координат, ось z ко-

торой совпадает с осью симметрии цилиндрической градирни. В цилиндрической системе координат с непроницаемыми стенками радиальная составляющая скорости пренебрежимо мала ≈ 0 .

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \vartheta_{\theta} + \frac{\partial}{\partial z} \vartheta_z = 0, \quad (1)$$

где r — расстояние от оси вращения, м;

ϑ_{θ} — вращательная составляющая скорости, м/с;

ϑ_z — вертикальная составляющая скорости, м/с.

Скорость вращательного движения определяется соотношением:

$$\vartheta_{\theta} = \omega \cdot r, \quad (2)$$

где ω — угловая скорость вращения воздушного потока, рад/с.

Учитывая, что ϑ_z составляющая скорости воздуха на входе градирни равна нулю, а с увеличением высоты нарастает, будем искать решение уравнения (1) в виде:

$$\vartheta_z = \frac{4G_v}{\pi D^2} \left(\frac{z}{H} \right)^n, \quad (3)$$

где G_v — объемный расход воздуха, м³/с;

D — диаметр градирни, м;

H — высота градирни, м;

n — показатель степени.

Подставляя выражения (2) и (3) в уравнение непрерывности, получим:

$$\frac{\partial \omega}{\partial \theta} + \frac{4nG_v}{\pi D^2} \frac{z^{n-1}}{H^n} = 0. \quad (4)$$

Вводя обозначение $A = 4G_v/\pi D^2$ и учитывая, что $d\theta = \omega d\tau$ (τ — время движения воздушного потока в градирне), уравнение (4) примет вид:

$$\frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} + \frac{An}{H^n} z^{n-1} = 0. \quad (5)$$

Решая уравнение (4), можно определить изменение угловой скорости воздушного потока по высоте градирни и времени пребывания в ней:

$$\omega = \omega_0 e^{-\frac{An z^{n-1}}{H^n} \tau}, \quad (6)$$

где ω_0 определяется конструктивными параметрами градирни:

$$\omega_0 = \frac{4G_v}{\pi d^2 R}. \quad (7)$$

где d — диаметр входного патрубка, м;

R — радиус градирни, м.

Как видно из последнего соотношения, по мере движения вверх по градирне угловая скорость воздушного потока уменьшается по экспоненциальному

закону. Учитывая, что при $z = H \rightarrow 0$, определим характерное время пребывания воздушного потока в градирне [15].

По аналогии с определением времени переходных процессов получим:

$$\omega(z = H) = \frac{\omega_0}{e^5} \rightarrow 0. \quad (8)$$

При этом характерное время пребывания воздушного потока в градирне определится соотношением:

$$\tau = \frac{5H}{An} = \frac{5\pi D^2}{4G_v n}. \quad (9)$$

Зная время пребывания воздушного потока в градирне, можно определить среднюю по высоте продольную скорость движения:

$$\langle v_z \rangle = \frac{H}{\tau} = \frac{An}{5}. \quad (10)$$

С другой стороны, среднюю скорость по высоте можно вычислить по формуле:

$$\langle v_z \rangle = \frac{1}{H} \int_0^H v_z(z) dz = \frac{1}{H} \int_0^H A \left(\frac{z}{H} \right)^n dz = \frac{A}{n+1}. \quad (11)$$

Сравнивая выражения (10) и (11), получим соотношение для определения показателя степени n :

$$\frac{n}{5} = \frac{1}{n+1}, \quad (12)$$

из которого следует, что $n = 1,79$.

Таким образом, в градирне с тангенциальным вводом охлаждающего воздуха реализуется «винто-

вое» движение воздушного потока, при этом угловая скорость вращения уменьшается по высоте градирни по экспоненциальному закону (6), а линейная скорость увеличивается с увеличением координаты z по степенному закону:

$$v_z \approx \frac{4G_v}{\pi D^2} \left(\frac{z}{H} \right)^{1,79}. \quad (13)$$

Учитывая, что время пребывания воздушного потока в градирне связано с координатой z по формуле $\tau = z/\langle v \rangle$, можно преобразовать соотношение (6) для определения угловой скорости вращения:

$$\omega = \omega_0 e^{-5 \left(\frac{z}{H} \right)^n}. \quad (14)$$

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения технологических, гидроаэротермических характеристик, а также для оценки эффективности охлаждения оборотной воды была разработана экспериментальная установка «малогабаритная градирня» с винтовым воздушным потоком [16, 17].

Аэродинамические испытания проводились с целью определения коэффициента аэродинамического сопротивления ζ оросителя для малогабаритной градирни с винтовым потоком и противоточной миниградирни и в зависимости от технологических параметров. Гидроаэротермические испытания выполнялись с целью определения изменения температуры циркуляционной воды и коэффициентов тепло- и массоотдачи на межмолекулярном уровне.

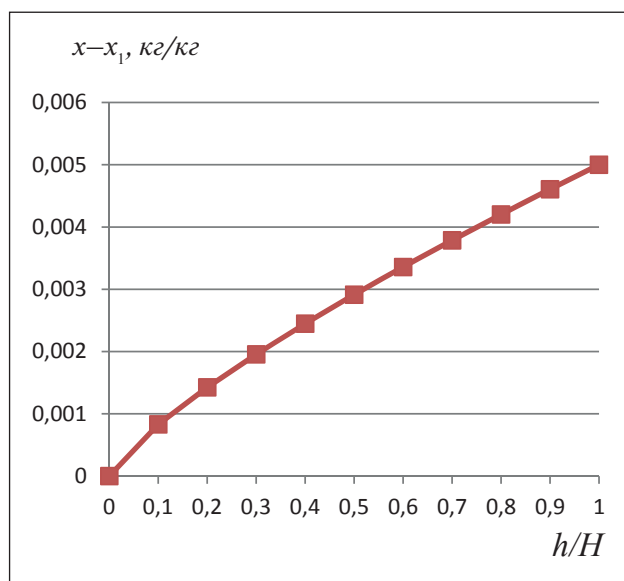


Рис. 3. Изменение влагосодержания по высоте оросителя

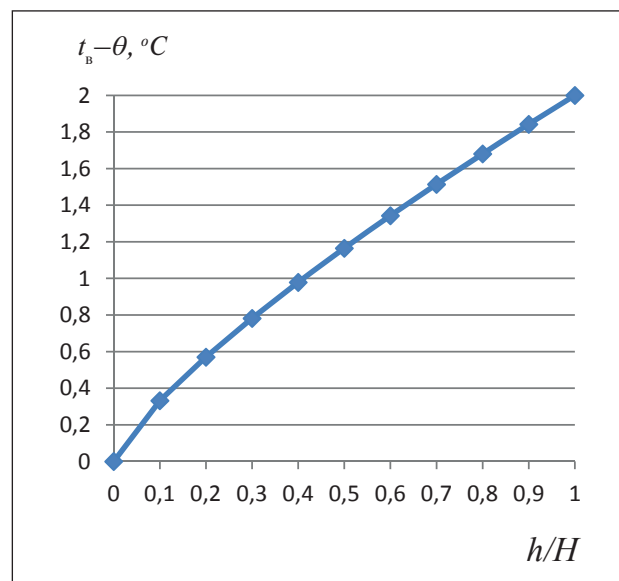


Рис. 4. Изменение перепада температуры воздуха по высоте оросителя

Эксперименты проводились при плотностях орошения до $q = 12 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$, скорость восходящего воздушного потока w изменялась от 0,5 до 3 м/с, температура воды, подаваемая на установку, t_2 доходила до 30°C .

Для проведения гидроаэротермических испытаний оросителя градиры использовалась следующая методика. Вода с помощью циркуляционного насоса направлялась в бак для горячей воды, там она нагревалась электронагревателями до температуры $40^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ и подавалась через электроакустические преобразователи расхода по напорному трубопроводу в водораспределительную систему [18–20].

Водораспределительная система (плотность орошения до $q = 12 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$) распределяла водный поток по площади орошения рабочей секции установки. Направленный навстречу воздушный поток со скоростью 0,5...3 м/с создавался центробежным тангенциальным вентилятором. Воздух поступал в экспериментальную установку через тангенциальный патрубок, расположенный в нижней части корпуса. Охлажденная на установке вода стекала в водосборную емкость 7 и насосом подавалась в емкость 4 для последующего ее нагрева. Водоборотный цикл замыкался.

При проведении экспериментов фиксировалась температура воды многофункциональным прибором АМІ-301 на входе и выходе из установки. В течение 15 минут при работе установки (для прогрева системы) производилась настройка следующих параметров: расход воды — изменением частоты вращения двигателя насоса и дросселированием,

расход воздуха — открытием и закрытием шиберной заслонки, скорость определялась прибором АМІ-301. Постоянно контролировались атмосферные параметры, а именно влажность и температура воздуха.

Для замера температуры воды прибором АМІ-301 она отбиралась непосредственно под оросителем с дополнительным контролем ртутным термометром (ТГЛ 11 998, класс точности 1.66, деление шкалы 0,2), при указанных значениях плотности орошения q и расхода воздуха. Затем отработанная вода поступала в емкость для нагрева, и эксперимент повторялся для следующих показателей плотности орошения и расхода воздуха [21, 22].

Исследования по определению аэрогидродинамических характеристик также проводились по вышеуказанной методике, но с дополнением замеров на потери давления в воздушном потоке до оросителя и после него.

Из анализа экспериментальных данных для разработанных конструкций градиры следует, что влагосодержание x и температура t_v воздуха в объеме по высоте оросителя изменяется по степенному закону (а не по линейному, как считалось другими исследователями).

$$x(h) = x_1 + k_1 h^a, \quad (15)$$

$$t_v(h) = \theta + k_2 h^b, \quad (16)$$

$$\text{где } k_1 = (x_2 - x_1)/H^a; k_2 = (t_{v2} - \theta)/H^b; 0 \leq h \leq H. \quad (17)$$

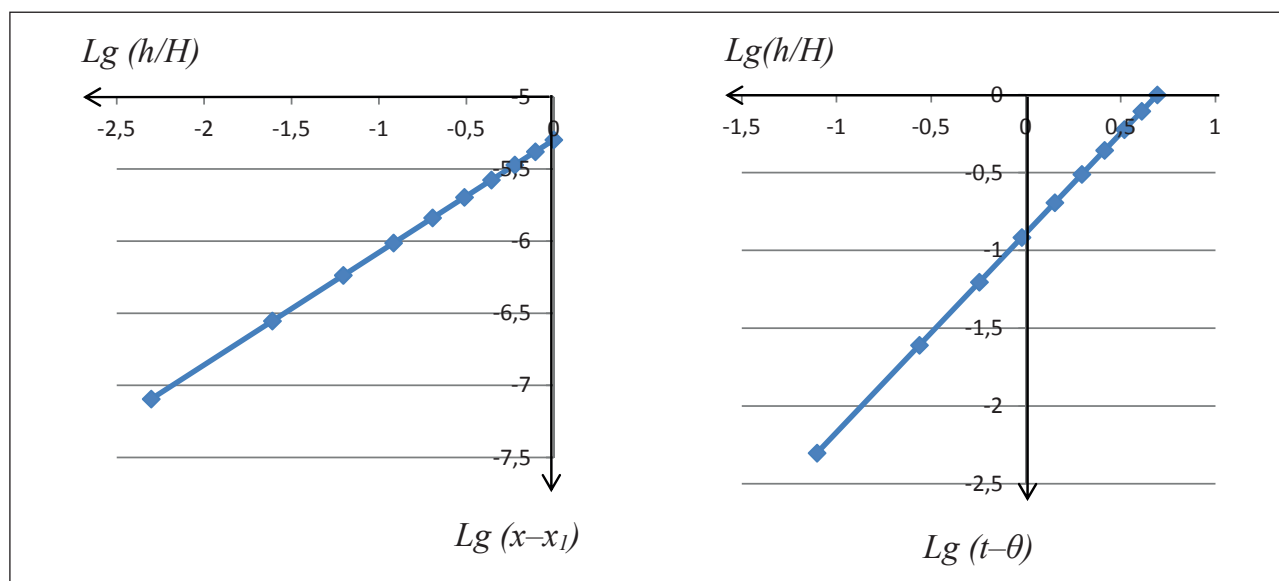


Рис. 5. Изменение перепада влагосодержания и температуры по высоте оросителя в логарифмической интерпретации

Константы a и b находятся опытным путем из зависимостей $x(h)$, $t_b(h)$ (рис. 3, 4) в логарифмической интерпретации (рис. 5).

Кривые в логарифмических координатах представляют линейные зависимости, и тангенс угла наклона соответствует показателям степеней: $a = 0,83$, $b = 1,25$.

Из приведенных формул можно вычислить коэффициент массоотдачи:

$$\beta_{xv} = \frac{G_j c_j \Delta t}{K \left(\frac{(t_{v2} - \theta)(c_{vc} + c_p x_1^*)}{b+1} + (r + c_p \theta) \left[(x_2^* - x_2) + (x_1^* - x_1) \frac{a}{a+1} \right] + c_p \frac{(x_2^* - x_1^*)(t_{v2} - \theta)}{a+b+1} \right)}. \quad (18)$$

Из экспериментальных данных можно оценить коэффициенты массоотдачи β_{xv} и теплоотдачи α_v (табл. 1 и 2).

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- коэффициенты массоотдачи β_{xv} и теплоотдачи α_v исследуемой винтовой миниградирни при равных плотностях орошения и скоростях восходящего воздушного потока 2 м/с превышают коэффициенты противоточной на 20%;
- начиная с плотности орошения $q = 8 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$, коэффициент массоотдачи β_{xv} винтовой миниградирни имеет наибольшее значение и держится на одном уровне.

Таблица 1

Результаты исследований на лабораторной установке миниградирни с винтовым потоком воздуха

№ опыта	1	2	3	4	5	6
Плотность орошения q , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{час}$	2	4	6	8	10	12
Температура воздуха на входе θ , $^{\circ}\text{C}$	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
Температура воздуха на выходе t_{b2} , $^{\circ}\text{C}$	15,3	16,8	16,9	17,0	17,2	16,8
Влажность окружающего воздуха ϕ_1 , %	60	60	60	60	60	60
Влажность на выходе из градирни ϕ_2 , %	77	78	79	79	80	80
Изменение энтальпии воздуха Δi , Дж/кг	15130,5	17150,3	17418,1	17611,7	18048,5	18048,5
Температура воды на входе t_1 , $^{\circ}\text{C}$	27,5	27,6	27,5	27,5	27,6	27,5
Температура воды на выходе t_2 , $^{\circ}\text{C}$	20,0	18,9	18,0	17,8	17,7	17,7
Тепловая мощность Q , Вт	6930,0	7946,4	8778,0	8962,8	9147,6	9055,2
Коэффициент теплоотдачи α_v , $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$	1534,4	1552,2	1688,3	1704,8	1708,5	1708,5
Коэффициент массоотдачи β_{xv} , $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$	1,53	1,54	1,68	1,70	1,70	1,70

Таблица 2

Результаты исследований на лабораторной установке миниградирни с противотоком

№ опыта	1	2	3	4	5	6
Плотность орошения q , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{час}$	2	4	6	8	10	12
Температура воздуха на входе θ , $^{\circ}\text{C}$	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
Температура воздуха на выходе t_{b2} , $^{\circ}\text{C}$	16,3	16,3	16,4	16,5	16,6	16,4
Влажность окружающего воздуха ϕ_1 , %	60	60	60	60	60	60
Влажность на выходе из градирни ϕ_2 , %	75	75	75	76	77	77
Изменение энтальпии воздуха Δi , Дж/кг	17168,9	17168,9	18028,5	18444,1	18366,6	18028,5
Температура воды на входе t_1 , $^{\circ}\text{C}$	27,5	27,5	27,5	27,5	27,6	27,5
Температура воды на выходе t_2 , $^{\circ}\text{C}$	21,5	20,2	19,6	19,4	19,6	19,6
Тепловая мощность Q , Вт	5544,1	6837,6	7392,1	7207,2	7114,8	7207,2
Коэффициент теплоотдачи α_v , $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$	1081,7	1334,2	1359,4	1359,4	1356,7	1356,4
Коэффициент массоотдачи β_{xv} , $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$	1,08	1,33	1,35	1,35	1,35	1,35

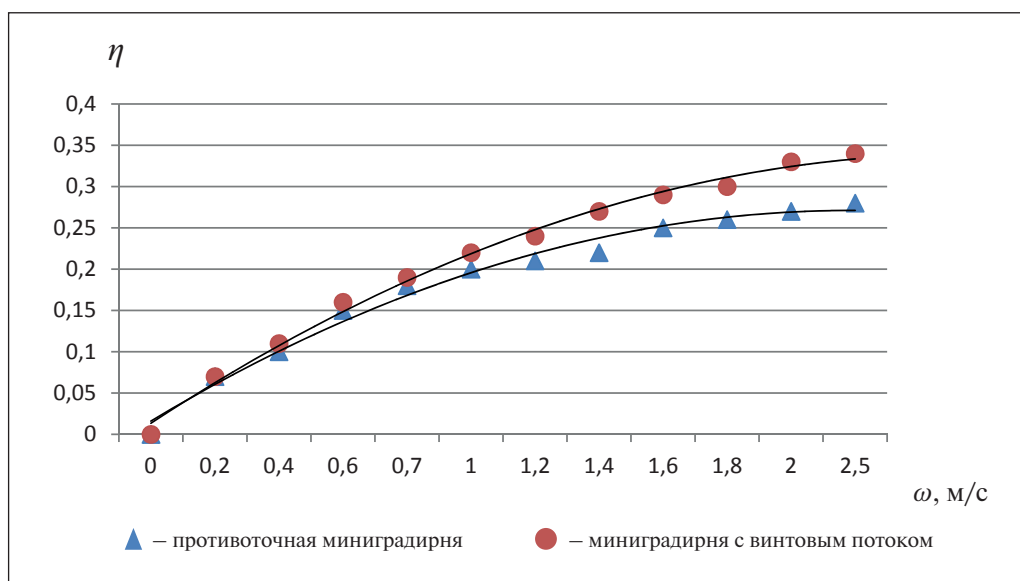


Рис. 6. Зависимость относительного перепада температуры оборотной воды от скорости воздушного потока

Для сравнения эффективности охлаждения оборотной воды в миниградирне с винтовым потоком воздуха и противоточной градирни были построены сравнительные графические соотношения относительного перепада температуры воды от скорости воздушного потока (рис. 6). Относительный перепад температуры оборотной воды определялся по формуле:

$$\eta = (t_1 - t_2) / t_1, \quad (22)$$

Анализ полученных зависимостей в результате экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

- для исследуемых малогабаритных градирен в интервале скоростей восходящего воздушного потока до 0,7 м/с относительный перепад температуры воды для винтовой и противоточной градирен отличается незначительно;
- в интервале скоростей воздушного потока от 0,8 до 2,4 м/с наблюдается повышение значения относительного перепада температуры воды в миниградирне с винтовым потоком относительно противоточной;
- при дальнейшем повышении скорости воздушного потока эффективность винтовой миниградирни превышает противоточную ~23%.

При аэродинамических испытаниях рассчитывался коэффициент аэродинамического сопротивления $\xi_{\text{оп}}$ по формуле Вейсбаха.

Из экспериментальных данных следует, что в интервале скорости воздушного потока 0,5–3 м/с и плотности орошения 0 – 12 м³/(м²ч) значения

коэффициента $\xi_{\text{оп}}$ для исследуемых насадочных устройств миниградирни с винтовым потоком и противоточной миниградирни находятся в пределах от 12 до 24 м⁻¹.

Таким образом, зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления от скорости воздушного потока для исследуемых конструкций оросителей можно представить в виде:

$$\lg \xi_{\text{оп}} = K_1 - K_2 \lg Re, \quad (23)$$

где $\xi_{\text{оп}}$ – коэффициент аэродинамического сопротивления оросителя, м⁻¹;

Re – число Рейнольдса;

K_1, K_2 – коэффициенты.

Общая формула для определения коэффициента аэродинамического сопротивления в зависимости от критерия Рейнольдса при плотностях орошения 0–12 м³/(м²ч) имеет вид:

$$\xi_{\text{оп}} = e^{2,3K_1} / Re^{K_2}, \quad (24)$$

где e – основание натурального логарифма;

K_1, K_2 – коэффициенты.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды с капельно-пленочным оросителем из полимерных материалов, применение которых позволит повысить эффективность нанотехнологического процесса тепломассообмена на межмолекулярном уровне.

2. Создана экспериментальная установка для проведения аэродинамических и гидроаэротермических испытаний винтового малогабаритного аппарата охлаждения оборотной воды. Определена теоретическая зависимость изменения вращательной и вертикально поступательной составляющих скорости воздушного потока по высоте градирни. Показано, что вращательная составляющая убывает с увеличением высоты по экспоненциальному закону, а вертикальная составляющая возрастает по степенному закону с показателем степени $\sim 1,79$.

3. Установлено, что влагосодержание x и температура воздуха t_v в объеме по высоте h оросителя изменяется по степенному закону, в частности

для винтовой градирни пропорционально $h^{0,83}$ (для влагосодержания), $h^{1,25}$ (для температуры воздуха). Определено, что коэффициенты массоотдачи β_{xv} и теплоотдачи α_v винтовой миниградирни на межмолекулярном уровне при равных плотностях орошения больше коэффициентов противоточной миниградирни на 20%.

4. Экспериментально определена зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления винтового оросителя градирни от критерия Re для воздушного потока и установлено, что он уменьшается как Re^{-K_2} , показатель степени K_2 изменяется в интервале $0,114 \div 0,193$ в зависимости от плотности орошения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.П., Ибрагимов И.Г., Бондарь К.Е., Иванов О.С. Повышение эффективности тепломассообменных процессов в водооборотных циклах промышленных предприятий // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 12. – С. 31.
2. Иванов С.П., Ибрагимов И.Г., Бондарь К.Е., Иванов О.С. Экспериментальная установка для исследования гидроаэротермических характеристик оросителей и водоуловителей градирен // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 1. – С. 3.
3. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: учебник для ВУЗов / Н.Н. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
4. Гончаров В.В. Новые технические решения башенных и вентиляторных градирен / В.В. Гончаров // Химическая техника. – 2006. – № 6. – С. 15–18.
5. Особенности конструкции градирни росинка: [сайт]. – Москва – URL: <https://tecopro.ru/>.
6. Соловьев А.А. Повышение эффективности использования низкопотенциального тепла при производстве энергии / А.А. Соловьев, К.В. Чекарев, Д.А. Соловьев, Л.А. Шилова // Современная наука и инновации. – 2017. – № 3 (19). – С. 140–146.
7. Федяев В.Л. Совершенствование испарительных градирен систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / В.Л. Федяев, В.И. Богаткин, Е.М. Власов // Энергетика Татарстана. – 2011. – № 2. – С. 44–47.
8. Пушнов А.С. Методы интенсификации процесса тепло- и массообмена в колонных аппаратах с контактными устройствами / А.С. Пушнов, А.С. Соколов, М.М. Бутрин // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2013. – Т. 4. – № 1 (15). – С. 237–242.
9. Бондарь К.Е., Иванов О.С. Совершенствование конструкций водоуловителей промышленных градирен с целью уменьшения выбросов химических реагентов в атмосферу / Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы Девятой Международной научно-технической конференции / отв. ред. О.А. Новоселов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – Т. 2. – С. 250–252.
10. Бондарь К.Е., Иванов О.С. Совершенствование конструкций водоуловителей с целью уменьшения каплеуноса от промышленных градирен // Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Sterlitamak: Фобос, 2013. – С. 223.
11. Бондарь К.Е., Иванов С.П., Лапонов С.В., Ибрагимов И.Г., Иванов О.С. Формующая экструзионная оснастка для изготовления сетчатой оболочки // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014: сборник трудов Международной научно-технической конференции. – Уфа: Аркаим, 2014. – Т. 2. – С. 65–69.
12. Иванов С.П., Бондарь К.Е., Сулейманов Д.Ф., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г. Ороситель градирни: Патент РФ № 147330: заявл. 02.04.2014; опубл. 10.11.2014, бюл. № 31.

13. Иванов С.П., Боев Е.В., Стороженко В.Н., Измайллов С.П., Герасимов В.В., Рыжаков Г.Г., Лежнев М.Л. Ороситель градирни: Патент РФ № 2295685: заявл. 28.11.2005; опубл. 20.03.2007, бюл. № 8.
14. Александров Д.В. Прикладная гидродинамика: учеб. пособие для вузов / Д.В. Александров, А.Ю. Зубарев, Л.Ю. Исакова. — М.: Юрайт, 2018; Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. — 109 с. — (Серия: Университеты России).
15. Бондарь К.Е. Распределение скоростей воздушного потока в малогабаритной градирне с тангенциальной подачей воздуха / К.Е. Бондарь, Н.С. Шулаев, Д.Ф. Сулейманов, С.П. Иванов, Е.С. Подцепняк // Естественные и технические науки. — 2019. — № 11. — С. 411–414.
16. Бондарь К.Е., Иванов С.П., Ибрагимов И.Г. и др. Патент РФ № 182965. МПК F28C1/00 (2006/01) Малогабаритная градирня: № 2018107000: заявл. 26.02.2018; опубл. 06.09.2018 /; заявитель ФГБОУ ВО УГНТУ. — 4 с.: ил.
17. Иванов С.П., Бондарь К.Е., Сулейманов Д.Ф. и др. Патент РФ № 147330. МПК F28F25/08 (2006/01). Ороситель градирни: № 2014112823: заявл. 02.04.2014; опубл. 10.11.2014 / С.П.; заявитель ФГБОУ ВО УГНТУ. — 4 с.: ил.
18. Иванов С.П. Экспериментальная установка для исследования гидроаэротермических характеристик оросителей и водоуловителей градирен / С.П. Иванов, И.Г. Ибрагимов, К.Е. Бондарь, О.С. Иванов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2015. — №1. — С. 3–5.
19. Бондарь К.Е. Методика проведения гидроаэротермических и аэрогидродинамических испытаний оросителя трубчатой миниградирни / К.Е. Бондарь // Современные технологии в образовании и промышленности: от теории к практике: сборник материалов II Внутривузовской научно-практической конференции. — Уфа: Нефтегазовое дело, 2018. — С. 158–159.
20. Иванов С.П. Методика проведения гидроаэротермических испытаний оросителей градирен / С.П. Иванов, Е.В. Боев, Е.А. Николаев // Техника и технология. — 2007. — № 3. — С. 118–119.
21. Ключко В.В. Исследование и расчет гидродинамических характеристик регулярных контактных устройств в массообменных колоннах / В.В. Ключко, Л.П. Холпанов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2004. — № 5 — С. 19–23.
22. Калатuzов В.А. Повышение располагаемой мощности и эффективности Пермской ТЭЦ — 14 путем реконструкции градирен / В.А. Калатuzов // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2004. — № 8 — С. 17–20.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бондарь Кристина Евгеньевна, старший преподаватель кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал в г. Sterлитамаке, г. Sterлитамак, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9754-5335>, e-mail: kristina88_08@mail.ru

Шулаев Николай Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика, математика, физика», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал в г. Sterлитамаке, г. Sterлитамак, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3595-6948>, e-mail: nshulayev@rambler.ru

Иванов Сергей Петрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Оборудование нефтехимических заводов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал в г. Sterлитамаке, г. Sterлитамак, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0642-2541>, e-mail: isp-777@yandex.ru

Лапонов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал в г. Sterлитамаке, г. Sterлитамак, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8195-6474>, e-mail: laponows92@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 14.10.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 24.11.2020.

Статья принята к публикации: 28.11.2020.

Content of the issues for 2020

№ 1/2020

IN THE ISSUE	1
---------------------------	---

PUBLISHER INFORMATION

Aims and scope; The first year of output; Frequency; Topics of the articles, and target audience; International editorial council; International editorial board; The editors; Founder and publisher; Publication ethics; Contacts; Minimal system requirements to access the edition; Archiving; Journal production schedule	4
--	---

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION

Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	10
INTERNATIONAL EXPERIENCE	
<i>Kudryavtsev P.G. Properties of porous heat-resistant composition materials. Part II</i>	15

DEVELOPMENT OF NEW POLYMER MATERIALS

<i>Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Aminova G.K., Savicheva Ju.N., Gareeva N.B., Shaikhullin I.R.</i> The influence of nano-additives in the synthesis of eco-friendly polyester plasticizers	21
---	----

REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS

<i>Ivanov L.A., Bokova E.S., Muminova S.R., Katuhin L.F.</i> Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part I	27
--	----

MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

<i>Badikova A.D., Sakhibgareev S.R., Fedina R.A., Rakhimov M.N., Tsadkin M.A.</i> Effective mineral additive on the basis of wastes of petrochemical plants for a concrete structural mix	34
---	----

A REVIEW OF THE ACHIEVEMENTS OF NANOTECHNOLOGY

<i>Smirnova L.N., Rucińska T., Zvezdov A.I.</i> Achievements of nanoindustry: projects, applications, economic effect and social significance	41
---	----

ON THE OBSERVANCE OF CODE OF ETHICS OF ELECTRONIC EDITION «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» AND ON THE PROCEDURE IN CASE OF ABUSIVE PRACTICE (INFRINGEMENTS). ON THE USE OF THE CONTENT IN ACCORDANCE WITH CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». DECLARATION OF THE OPEN ACCESS JOURNAL

General statements, paper format guidelines, the topics of published materials, paper structure, reference format. The authors of the published materials allow the use of the content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution». Declaration Open Access of the journal	46
--	----

№ 2/2020

IN THE ISSUE	56
PUBLISHER INFORMATION	
Aims and scope; The first year of output; Frequency; Topics of the articles, and target audience; International editorial council; International editorial board; The editors; Founder and publisher; Publication ethics; Contacts; Minimal system requirements to access the edition; Archiving; Journal production schedule	59
STUDY OF PROPERTIES OF NANOMATERIALS	
Kiyamov I.K., Vachitova R.I., Saracheva D.A., Sidina D.V., Sabitov L.S. Study of the properties of nanomaterials	65
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
Ivanov L.A., Kapustin I.A., Borisova O.N., Pisarenko Zh.V. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part II	71
MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Massalimov I.A., Massalimov B.I., Akhmetshin B.S., Urakaev F.K., Burkitbaev M.M. Conversion of limestone-limestone mining waste by impregnation with polysulfide solutions	77
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	84
THE APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS	
Levin Y.A., Nikitin A.A., Konotopov M.V., Ivanov L.A. The potential of nanotechnology: issues of heat supply and heating of buildings	89
DEVELOPMENT OF NEW POLYMER MATERIALS	
Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Maskova A.R., Gareeva N.B., Shaikhullin I.R. Study of the effect of additives on biodegradation of PVC materials	94
THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES	
Sergeev V.V., Sharapov R.R., Kudymov A.Y., Zeigman Y.V., Mukhametshin V.S. Experimental research of the colloidal systems with nanoparticles influence on the filtration characteristics of hydraulic fractures	100
INTERNATIONAL EXPERIENCE	
Sikora P. The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part I	108
ON THE OBSERVANCE OF CODE OF ETHICS OF ELECTRONIC EDITION «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» AND ON THE PROCEDURE IN CASE OF ABUSIVE PRACTICE (INFRINGEMENTS). ON THE USE OF THE CONTENT IN ACCORDANCE WITH CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION».	
DECLARATION OF THE OPEN ACCESS JOURNAL	
General statements, paper format guidelines, the topics of published materials, paper structure, reference format. The authors of the published materials allow the use of the content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution». Declaration Open Access of the journal	116

№ 3/2020

PUBLISHER INFORMATION	127
------------------------------------	-----

CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE

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

Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle	130
---	-----

REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS

Ivanov L.A., Demenev A.V., Pisarenko Zh.V., Wang Q.

Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part III	140
---	-----

INTERNATIONAL EXPERIENCE

Sikora P.

The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part II	147
---	-----

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION

Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	155
---	-----

THE APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS

Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F.

Nanomodification is an effective way of forming a fine-grained structure of a weld metal. Part I.	
Factors determining the stability of the weld seam against embrittlement	160

THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES

Sergeev V.V., Tanimoto K., Abe M., Sharapov R.R., Zeigman Y.V.

Assessment of the colloidal system with nanoparticles influence on wettability of carbonate rock surface	166
--	-----

PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Nguyen T.A., Topolsky N.G.

Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings. Part 1	174
--	-----

PUBLISHING ETHICS	185
--------------------------------	-----

AUTHOR GUIDELINES	189
--------------------------------	-----

№ 4/2020

PUBLISHER INFORMATION	194
------------------------------------	-----

APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS

Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F.

Nanomodification is an effective method for forming the structure of the weld metal.

Part II. Increasing the efficiency of nanoinoculators in the welding bath	197
---	-----

SOLUTION FOR ECOLOGICAL PROBLEMS

Mazitova A.K., Sukhareva I.A., Sidorov G.M., Abdrakhmanova L.K., Kuznetsova E.V.

Study of flocculating effects of ozone on wastewater of woodworking enterprises	204
---	-----

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION

Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	211
---	-----

PROBLEMS OF USING NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Belozеров V.V., Belozеров V.I., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Prus Yu.V.

Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements

of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings. Part 2	216
--	-----

THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES

Pisarenko Zh.V., Ivanov L.A., Wang Q.

Nanotechnology in Construction: State of the Art and Future Trends	223
--	-----

PUBLISHING ETHICS	232
--------------------------------	-----

AUTHOR GUIDELINES	236
--------------------------------	-----

№ 5/2020

PUBLISHER INFORMATION	241
TO THE AUTHORS AND READERS	
The journal « Nanotechnologies in construction» has successfully passed the evaluation process and is indexed in the ICI Journals Master List database	244
TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS	
<i>Gusev B.V., Kudryavtseva V.D., Potapova V.A.</i> Concretes with nanoadditive of fired recycled concrete	245
SYSTEM RESOLUTIONS TO TECHNOLOGICAL PROBLEMS	
<i>Khalikov R.M., Ivanova O.V., Korotkova L.N., Sinitsin D.A.</i> Supramolecular impact mechanism of polycarboxylate superplasticizers on controlled hardening building nanocomposites	250
INTERNATIONAL EXPERIENCE	
<i>Kudryavtsev P.G.</i> Main routes of the porous composite materials creation.....	256
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	270
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
<i>Ivanov L.A., Ishkov A.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S.</i> Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part IV.	275
THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES	
<i>Nazarov A.M., Tuktarova I.O., Kulagin A.A., Araslanova L.Kh., Archipenko V.A.</i> Adsorption treatment of sewage sludge from heavy metals.....	285
PUBLISHING ETHICS	292
AUTHOR GUIDELINES.....	296

№6 / 2020

HAPPY NEW YEAR 2021!	301
PUBLISHER INFORMATION	302
CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE	
<i>Zheldakov D.Yu., Kozlov V.V., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A.</i> Moisture crystallization in bricks	305
RESEARCH RESULTS OF RESEARCHERS	
<i>Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A.</i> Application of Statistical Methods For Solving Problems of Construction Materials Science.....	313
DEVELOPMENT OF NEW POLYMER MATERIALS	
<i>Vikhareva I.N., Zaripov I.I., Kinzyabulatova D.F., Minigazimov N.S., Aminova G.K.</i> Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part I.....	320
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities.....	326
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
<i>Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R.</i> Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part V.....	331
RATIONAL USE OF NATURAL SOURCES	
<i>Bondar K.E., Shulaev N.S., Ivanov S.P., Laponov S.V.</i> Energy resource efficient designs of small-sized devices for recycled water cooling	339
CONTENT OF THE ISSUES PUBLISHED IN 2020	349
PUBLISHING ETHICS	355
AUTHOR GUIDELINES	359
CALENDAR FOR 2020	363

Содержание журналов, вышедших в свет в 2020 г.

№ 1/2020

В НОМЕРЕ 1

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цели и задачи; первый год выхода; периодичность; тематика статей и целевая аудитория;
международный редакционный совет; международная редакционная коллегия;
редакция; учредитель и издатель; издательская этика; контактные данные;
минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию;
архивирование; график издания 4

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов 10

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Кудрявцев П.Г. Свойства пористых термостойких композиционных материалов. Часть 2 15

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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 21

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Иванов Л.А., Бокова Е.С., Муминова С.Р., Катухин Л.Ф.
Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить
принципиально новые технические результаты. Часть I 27

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Бадикова А.Д., Сахибгареев С.Р., Федина Р.А., Рахимов М.Н., Цадкин М.А.
Эффективная минеральная добавка на основе отходов нефтехимических производств
для бетонной строительной смеси 34

ОБЗОР ДОСТИЖЕНИЙ НАНОИНДУСТРИИ

Смирнова Л.Н., Ручинская Т., Звездов А.И. Достигновения наноиндустрии: проекты, область применения,
экономический эффект и общественная значимость 41

О СОБЛЮДЕНИИ ЭТИЧЕСКОГО КОДЕКСА ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДАНИЯ «НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ» И ПРОЦЕДУРЫ В СЛУЧАЕ ЗЛОУПОТРЕБЛЕНИЙ (НАРУШЕНИЙ). ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕНТА В СООТВЕТСТВИИ С ЛИЦЕНЗИЕЙ CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». ДЕКЛАРАЦИЯ OPEN ACCESS ЖУРНАЛА.

Общие положения, правила оформления материалов, тематика публикуемых материалов, структура статьи,
оформление библиографических ссылок. Авторы публикуемых в журнале материалов допускают
использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY
«Attribution» («Атрибуция»). Декларация Open Access журнала 46

№ 2/2020

В НОМЕРЕ	56
ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	
Цели и задачи; первый год выхода; периодичность; тематика статей и целевая аудитория; международный редакционный совет; международная редакционная коллегия; редакция; учредитель и издатель; издательская этика; контактные данные; минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию; архивирование; график издания.....	59
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ	
Киямов И.К., Вахитова Р.И., Сарачева Д.А., Сидина Д.В., Сабитов Л.С. Исследование свойств наноматериалов	65
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
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	71
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	
Массалимов И.А., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Урукаев Ф.Х., Буркитбаев М.М. Преобразование отходов добычи известняка-ракушечника пропиткой полисульфидными растворами	77
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов	84
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ	
Левин Ю.А., Никитин А.А., Конотопов М.В., Иванов Л.А. Потенциал нанотехнологий: вопросы теплоснабжения и отопления зданий	89
РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Мазитова А.К., Вихарева И.Н., Маскова А.Р., Гареева Н. Б., Шайхуллин И.Р. Исследование влияния добавок на биodeградацию ПВХ-материалов	94
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
Сергеев В.В., Шаранов Р.Р., Кудымов А.Ю., Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.Ш. Экспериментальное исследование влияния коллоидных систем с наночастицами на фильтрационные характеристики трещин гидравлического разрыва пласта	100
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ	
Сикора П. Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур. Часть I	108
О СОБЛЮДЕНИИ ЭТИЧЕСКОГО КОДЕКСА ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДАНИЯ «НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ» И ПРОЦЕДУРЫ В СЛУЧАЕ ЗЛОУПОТРЕБЛЕНИЙ (НАРУШЕНИЙ). ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕНТА В СООТВЕТСТВИИ С ЛИЦЕНЗИЕЙ CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». ДЕКЛАРАЦИЯ OPEN ACCESS ЖУРНАЛА.	
Общие положения, правила оформления материалов, тематика публикуемых материалов, структура статьи, оформление библиографических ссылок. Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»). Декларация Open Access журнала.....	116

№ 3/2020

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	127
------------------------------------	-----

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

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

Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла	130
---	-----

ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Иванов Л.А., Деменев А.В., Писаренко Ж.В., Ванг Ц.

Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III	140
---	-----

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Сикора П.

Исследование микроструктурных и термических характеристик модифицированных наночастицами кремнезема цементных растворов после воздействия высоких температур. Часть II	147
--	-----

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	155
---	-----

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

Болдырев А.М., Сизинцев С.В., Санников В.Г., Першин В.Ф.

Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва. Часть I. Факторы, определяющие стойкость сварного шва против охрупчивания	160
---	-----

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Сергеев В.В., Танимото К., Абэ М., Шарапов Р.Р., Зейгман Ю.В.

Оценка влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород.....	166
---	-----

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

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

Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1	174
---	-----

ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	185
-----------------------------------	-----

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	189
----------------------------------	-----

№ 4/2020

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	194
------------------------------------	-----

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

Болдырев А.М., Сизинцев С.В., Санников В.Г., Першин В.Ф.

Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва. Часть II. Повышение эффективности наноинокуляторов в сварочной ванне	197
--	-----

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Абдрахманова Л.К., Кузнецова Е.В.

Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий	204
---	-----

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	211
---	-----

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Прус Ю.В.

Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 2	216
---	-----

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Писаренко Ж.В., Иванов Л.А., Ванг Ц.

Нанотехнологии в строительстве: современное состояние и тенденции.....	223
--	-----

ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	232
-----------------------------------	-----

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	236
----------------------------------	-----

№ 5/2020

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	241
К АВТОРАМ И ЧИТАТЕЛЯМ	
Журнал «Нанотехнологии в строительстве» успешно прошел многокритериальный процесс оценки и индексируется в базе ICI Journals Master List	244
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	
Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д., Потапова В.А. Бетоны с нанодобавкой из обожженного вторичного бетона	245
СИСТЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ	
Халиков Р.М., Иванова О.В., Короткова Л.Н., Синицин Д.А. Супрамолекулярный механизм влияния поликарбоксилатных суперпластификаторов на управляемое твердение строительных нанокompозитов	250
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ	
Кудрявцев П.Г. Основные пути создания пористых композиционных материалов	256
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов	270
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
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	275
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
Назаров А.М., Туктарова И.О., Кулагин А.А., Арасланова Л.Х., Архипенко В.А. Сорбционная очистка осадков сточных вод от тяжелых металлов	285
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	292
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	296

№ 6/2020

С НОВЫМ, 2021 ГОДОМ!	301
ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	302
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
<i>Желдаков Д.Ю., Козлов В.В., Кузнецов Д.В., Синицин Д.А.</i>	
Исследование процесса кристаллизации влаги в кирпиче	305
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
<i>Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В., Медведев А.А., Демисси Б.А.</i>	
Применение статистических методов для решения задач строительного материаловедения.....	313
РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Вихарева И.Н., Зарипов И.И., Кинзябулатова Д.Ф., Минигазимов Н.С., Аминова Г.К.</i>	
Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть I.....	320
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	326
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р.</i>	
Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть V	331
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	
<i>Бондарь К.Е., Шулаев Н.С., Иванов С.П., Лапонов С.В.</i>	
Энергоресурсоэффективные конструкции малогабаритных аппаратов охлаждения оборотной воды	339
СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА, ВЫШЕДШИХ В 2020 ГОДУ	349
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	355
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	359
КАЛЕНДАРЬ 2021	363

PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Complaints and appeals handling

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

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

Policy of disclosure and conflicts of interest /competing interests

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

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

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

The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility

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

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

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

Ethical oversight of the published materials

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

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

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

Derivation and plagiarism

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

Intellectual property

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

The editors aside from using plagiarism detecting tools can also:

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

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

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

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

Preprint and postprint policy

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

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

On the procedure in case of abusive practice (infringement)

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

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

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

ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ ПРАКТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

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

Ответственность авторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность редакторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность рецензентов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Рецензент оценивает свою занятость перед согласием на экспертизу рукописи и соглашается на рецензирование только при наличии достаточного времени на качественную работу.
2. Рецензент использует разработанную редакцией журнала форму, которую он получает вместе со статьей. Рецензент вправе дать более расширенную рецензию.
3. Рецензент предупреждает редакцию о наличии конфликта интересов (если он возник) до начала работы со статьей.
Об отсутствии конфликта интересов рецензент указывает в рецензии – «Рецензент заявляет об отсутствии конфликта интересов».
4. Рецензент не передает сведения о статье и данные, которые в ней содержатся, третьим лицам.
5. Рецензент не использует информацию, полученную из статьи, в личных и коммерческих целях.
6. Рецензент не делает выводов о качестве статьи на основе субъективных данных: личного отношения к автору, его пола, возраста, вероисповедания.
7. Рецензент использует только корректные выражения и объяснения в отношении статьи, не переходит на личности.

Ответственность издателя журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Издатель не только поддерживает научные коммуникации и инвестирует в данный процесс, но также несет ответственность за соблюдение всех современных рекомендаций в публикуемой работе.
2. Издатель не влияет на редакционную политику журнала.
3. Издатель оказывает юридическую поддержку редакции журнала при необходимости.
4. Издатель обеспечивает своевременность выхода очередных выпусков журнала.
5. Издатель публикует правки, пояснения и отзывает статьи, в которых были выявлены нарушения научной этики или критические ошибки.

Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Главный редактор отвечает за принятие решения о том, какие из представленных в редакцию журнала работ следует опубликовать. Это решение всегда должно приниматься на основе проверки достоверности работы и ее важности для исследователей и читателей. Главный редактор может руководствоваться методическими рекомендациями, разработанными редколлекцией журнала, и такими юридическими требованиями как недопущение клеветы, нарушения авторского права и плагиата. Также при принятии решения по публикации главный редактор может советоваться с членами редсовета, редколлекции, рецензентами.
2. Главный редактор оценивает представленные работы по их интеллектуальному содержанию, невзирая на расу, пол, сексуальную ориентацию, религию, этническое происхождение, гражданство или политические взгляды автора.
3. Главный редактор, сотрудники редакции, члены редколлекции не должны раскрывать информацию о представленной рукописи кому-либо другому, за исключением автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, а также издателя.
4. Сведения, содержащиеся в представленной статье, не должны использоваться в какой-либо собственной работе главного редактора и членов редсовета и редколлекции без письменного разрешения автора. Конфиденциальная информация или идеи, полученные при рецензировании, должны храниться в секрете и не использоваться для получения личной выгоды.
5. Главному редактору следует отказаться от своего участия в рецензировании в случае, если присутствует конфликт интересов, проистекающий из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, компаний или учреждений, имеющих отношение к статье.
6. Главному редактору следует требовать от всех авторов журнала предоставлять сведения о соответствующих конкурирующих интересах и публиковать исправления, если конфликт интересов был разоблачен после публикации. В случае необходимости, может выполняться другое подходящее случаю действие, такое как публикация опровержения или выражения озабоченности.
7. Главному редактору следует принимать разумно быстрые меры при поступлении жалоб этического характера в отношении представленной рукописи или опубликованной статьи, имея контакт с редакцией, издателем.

Обработка жалоб и апелляций

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

Политика раскрытия и конфликты интересов/конкурирующих интересов

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

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

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

Политики журнала в отношении обмена данными и воспроизводимости

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

Политика журнала в отношении обмена данными и воспроизводимости в конечном итоге способствует более «открытой» науке, а открытость научной информации есть гарант исследований и инноваций высокого качества.

Этический надзор за опубликованными материалами

Издатель и главный редактор должны работать над защитой репутации опубликованных материалов путем изучения и оценки заявленных или предполагаемых нарушений (исследований, публикаций, рецензий и редакторской деятельности) совместно с научным сообществом.

Это включает в себя взаимодействие с автором рукописи или тщательное рассмотрение соответствующей жалобы или высказанных претензий. Для выявления таких нарушений, как плагиат, редактор должен пользоваться соответствующими лицензионными системами.

Главный редактор, получивший убедительное свидетельство нарушения, должен сообщить об этом издателю, членам редколлегии, организовав немедленное уведомление автора о необходимости внесения поправок или отзыва публикации, в зависимости от ситуации.

Заемствования и плагиат

Редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы [Антиплагиат](#). В случае обнаружения многочисленных заимствований редакция действует в соответствии с правилами [COPE](#).

Интеллектуальная собственность

Редакторы должны внимательно относиться к вопросам, касающимся интеллектуальной собственности, и взаимодействовать с издателем при урегулировании случаев возможных нарушений законов и соглашений об охране интеллектуальной собственности.

Редакторы, кроме применения инструментов обнаружения плагиата, могут также:

- поддерживать авторов, чье авторское право было нарушено, или тех, кто стал жертвой плагиата;
- быть готовыми к совместной работе с издателем по защите авторских прав и к преследованию нарушителей (например, путём подачи запросов для отзыва статей или удаления материалов с веб-сайтов).

Обсуждение работ, опубликованных в журнале. Исправления после публикаций

Редакторы должны быть открытыми для исследований, которые оспаривают предыдущие работы, опубликованные в журнале; поощрять и с готовностью рассматривать обоснованную критику работ, публикуемых в их журнале.

Авторы критикуемых материалов должны иметь возможность ответить на критику. Работы, сообщающие только об отрицательных результатах, также могут публиковаться.

Политика размещения препринтов и постпринтов

В процессе подачи статьи автору необходимо подтвердить, что статья не была опубликована или не была принята к публикации в другом научном журнале. При ссылке на опубликованную в журнале «Нанотехнологии в строительстве» статью издательство просит размещать ссылку (полный URL материала) на официальный сайт журнала.

К рассмотрению допускаются статьи, размещенные ранее авторами на личных или публичных сайтах, не относящихся к другим издательствам.

О процедурах в случае злоупотреблений (нарушений)

Издатель, главный редактор, каждый сотрудник редакции, член редакционной коллегии, автор, рецензент и читатель обязаны соблюдать этику научных публикаций в журнале действующих законов, правил или положений и обязуются сообщать о любых известных случаях уже совершенного или потенциального злоупотребления (нарушения).

Редакцией журнала незамедлительно проводится расследование по всем сообщениям о злоупотреблениях (нарушениях) и, если информация подтверждается, принимаются меры по устранению злоупотреблений (нарушений). Если это требуется в соответствии с законодательством, материалы передаются в соответствующие государственные органы.

На все претензии авторов редакция предоставляет развернутые и обоснованные ответы, прилагая все усилия для разрешения конфликтных ситуаций.

AUTHOR GUIDELINES

Admission of articles

The authors submit to the editors:

- electronic manuscript by e-mail: info@nanobuild.ru;
- accompanying letter (the editors send the sample of the letter to the authors on demand).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution»; agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here <http://creativecommons.ru/>.

When submitting articles to the journal, it is presumed that:

- the work has not been previously published in any other journal;
- the article is not under consideration in any other journal;
- all co-authors consent to the publication of the article;
- there is implicit or explicit consent of the organization in which the study was conducted.

Information about the conflict of interest

The article should include any actual or potential conflict of interest. If there is no conflict of interest, you should write that «the author declares no conflict of interest.»

When submitting a manuscript to the journal, authors should ensure that the content of the paper corresponds the topic of the journal; the structure and the format of the paper meet the editorial requirements; all citations are properly formatted and the source of tables and figures are shown (unless otherwise indicated, it is assumed that the tables and figures created by the author).

Basic the sections of the journal:

- construction material science;
- the study of the properties of nanomaterials;
- the results of the specialists' and scientists' researches;
- manufacturing technology for building materials and products;
- international scientific and technical cooperation;
- overview of inventions in the field of nanotechnology;
- development of new materials;
- rational use of natural sources;
- efficient use of recycled resources;
- the application of nanotechnology and nanomaterials;
- system solutions for technological problems;
- in related sectors;
- forums, exhibitions, conferences and events in the area of construction and nanoindustry.

These are the topics of the papers published in the journal: creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; cement and other binders with mineral and organic additives; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; modification of building materials with nanofibers; disperse composite materials with nanocoating; formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering; technologies aimed at studying nanomaterial properties; the systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

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

The structure of the paper

Article type (In English)

Title (In English)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In English) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows

Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In English)

KEYWORDS: (In English)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In English)

FOR CITATION: (In English)

Text of the paper: (In English, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In English)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In English)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Article type (In Russian)

Title (In Russian)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In Russian) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In Russian)

KEYWORDS: (In Russian)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In Russian)

FOR CITATION: (In Russian)

Text of the paper: (In Russian, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In Russian)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Manuscript text

File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in either the .doc or .docx format. If you are using Word 2007, save the file only in the .doc format.

Text layout

- Use the font Times New Roman, font size – 14 pt., and 1.5 line spacing;
- Do not use an underscore in the text (for subtitles – use bold, to highlight text – use italics);
- Non-Russian languages titles (journals, organizations, etc.) should be left in the original, enclosed in quotes.

Abbreviations

All abbreviations should be defined when first used. If the article contains a large number of abbreviations, a list deciphering each of them can be included before the text of the article

Tables and Figures

All tables and figures must be numbered and identified, they should be a reference in the text. The tables should not contain empty columns. Figures should be of good quality, suitable for printing. Figures should be submitted together with the article, with each figure submitted as an individual file.

One way to check the quality of the image, is to increase its size using any image manipulation software. A high quality image is not 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 Hydrophilic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

References to non-Russian language monographs:

With 1–3 authors:

Surname initials, Surname initials. Book title. Number of reprinting. City: Publisher; The year of publishing.

Indication to the editor or compiler:

Surname initials. Surname initials. Surname initials, editors. Title. Number of reprinting. City: Publisher; Year of publishing.

Example: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Journal title and the title of monographs and collections are written in italics. After the initials a period (.) is used. Between the author's name and initials no comma is used.

Reference to Russian language sources:

Example: Lindorf L.S., Mamikonians L.G. Operation of turbine-generator with direct cooling. Moscow: Energia; 1972. (In Russ.)

References to internet sources:

The name of the material on the site [site]. Name of the site; year [updated: date of update; date of citation]. Available: link to the site.

Note: preferably indicate a link to the material from the site, which is mentioned in the article. A link to your homepage is not informative and does not allow for verification of the information.

Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

1. Authors retain copyright of the work and provide the journal right of first publication of the work.
2. The authors retain the right to enter into certain contractual agreements relating to the non-exclusive distribution in the published version of the work here form (eg, post it to an institutional repository, the publication of the book), with reference to its original publication in this journal.
3. The authors have the right to post their work on the Internet (eg in the institute store or personal website) prior to and during the review process of its data log, as this may lead to a productive discussion and a large number of references to this work.

Privacy Statement

Specified when registering the names and addresses will be used solely for technical purposes of a contact with the Author or reviewers (editors) when preparing the article for publication. Private data will not be shared with other individuals and organizations.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Прием статей

Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде по e-mail: info@nanobuild.ru;
- сопроводительное письмо (редакция высылает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь <http://creativecommons.ru/>.

Представление статьи в журнал подразумевает, что:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие – неявное или явное – организации, в которой исследование было проведено.

Информация о конфликте интересов

В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что содержание статьи соответствует тематике журнала; структура статьи и оформление соответствуют требованиям редакции; все цитирования оформлены корректно, указаны источники для таблиц и рисунков (если не указано иное, предполагается, что таблицы и рисунки созданы автором).

Основные разделы журнала:

- строительное материаловедение;
- исследование свойств наноматериалов;
- результаты исследований ученых и специалистов;
- технологии производства строительных материалов и изделий;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- обзор изобретений в области nanoиндустрии
- разработка новых материалов;
- рациональное использование природных ресурсов;
- эффективное использование вторичного сырья;
- применение нанотехнологий и наноматериалов;
- системные решения технологических проблем;
- в смежных отраслях;
- форумы, выставки, конференции, мероприятия строительной отрасли и nanoиндустрии.

В журнале публикуются работы по следующим темам: создание новых функциональных материалов; разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем; проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах; цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками; диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем; технологии исследования свойств наноматериалов; модифицирование строительных материалов нановолокнами; дисперсные композиционные материалы с нанопокрывом; формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением; системы преподавания основ нанотехнологий; технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.). Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

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

Структура статьи

Тип статьи (на английском языке)

Заглавие (на английском языке)

Автор(ы) (на английском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на английском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на английском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на английском языке)

Статья (на английском языке, объем – 3–6 тыс. слов):

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**
- **РЕЗУЛЬТАТЫ**
- **ОБСУЖДЕНИЕ**
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на английском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на английском языке)

Имя, отчество (при наличии), фамилия, ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УДК

Тип статьи (на русском языке)

Заглавие (на русском языке)

Автор(ы) (на русском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке) (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (введение, методы и материалы, результаты, обсуждение, заключение (выводы)), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на русском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на русском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на русском языке)

Статья (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов)

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

- РЕЗУЛЬТАТЫ
- ОБСУЖДЕНИЕ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на русском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на русском языке)

Фамилия, имя, отчество (при наличии), ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Оформление текста рукописи

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .doc или .docx. Если вы работаете с Word 2007, сохраняйте файл только в формате .doc.

Оформление

- используйте шрифт 14 Times New Roman и интервал 1,5 строки;
- не используйте подчеркивание внутри текста (для подзаголовков используйте полужирное начертание, для выделения в тексте – курсив);
- иностранные названия (журналов, организаций и т.д.) следует оставлять в оригинале, заключать в кавычки.

Аббревиатуры

Все аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если аббревиатур много, можно сделать список с расшифровкой каждой из них перед текстом статьи.

Таблицы и рисунки

Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и названы, на них должна быть отсылка в тексте статьи. В таблицах не должно быть пустых граф. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Прикладываются к статье отдельными файлами.

Чтобы проверить качество изображения, можно увеличить его. Хорошее изображение не размывается при увеличении.

Сноски

При необходимости используются сноски со сквозной нумерацией (арабские цифры) по всему документу. В сносках могут быть цитаты из работ, которые упоминаются в тексте, дополнительная информация.

Оформление цитат и списка литературы

В журнале принят Ванкуверский стиль цитирования (отсылка в тексте в квадратных скобках, полное библиографическое описание источника в списке литературы в порядке упоминания в тексте статьи).

Список литературы

В список литературы включаются источники, используемые в тексте статьи. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

Ссылки на статьи из иностранных источников:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи. Название журнала. Год; Том (Номер): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Пример: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophilic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

Ссылки на монографии на иностранном языке:

С 1–3 авторами:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название книги. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Указание на редактора или составителя:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О., ³Фамилия И.О., редакторы. Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Пример: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Глава из монографии или сборника:

¹Фамилия И.О. ¹Название. В: ²Фамилия И.О., редактор. ²Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Название журнала и название монографий и сборников выделяется курсивом, после инициалов ставятся точки. Между фамилией автора и инициалами запятая не ставится.

Ссылки на статьи на русском языке

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. – Год. – Том (Номер):00-00. [¹Familia I.O., ²Familia I.O. Перевод названия статьи. Транслит названия журнала/Официальное название на английском языке. Год; Том (Номер):00-00. (In Russ.)]]

Пример: Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – 9 (1): 88–106. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.

[Ivanov L.A., Muminova S.R. Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1. Nanotechnologies in Construction. 2017; 9 (1): 88–106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106. (In Russian)]

Ссылки на монографии на русском языке:

¹Фамилия И.О. Название монографии. – Город: Издательство, год. – 000 с. [¹Familia I.O. Перевод названия монографии. Gorod: Izdatelstvo; god. (In Russ.)]

Пример: Линдорф Л.С., Мамикониантс Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – М.: Энергия, 1972. – 352с.

Ссылки на интернет-ресурсы:

Название сайта [Электронный ресурс] – URL. – (дата обращения).

Примечание: предпочтительно указывать ссылку на материал с сайта, который упоминается в статье. Ссылка на главную страницу не информативна и не дает возможность проверить информацию.

Авторские права

Авторы, публикующие в журнале, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.

2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договорённости, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.

3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и большому количеству ссылок на данную работу.

Приватность

Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных этим журналом, и не будут использованы для каких-либо других целей или предоставлены другим лицам и организациям.

2021

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION:
A Scientific Internet-Journal



The editors are pleased to invite you to publish your materials in the Internet-Journal

www.nanobuild.ru

e-mail: info@nanobuild.ru

JANUARY						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
				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	31

FEBRUARY						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
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

MARCH						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
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	31				

APRIL						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
			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		

MAY						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
					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
31						

JUNE						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
	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				

JULY						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
			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	31	

AUGUST						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
						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	31					

SEPTEMBER						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		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			

OCTOBER						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
				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	31

NOVEMBER						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
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					

DECEMBER						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		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	31		

GIGAsuccess is built from NANO

2021

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
научный интернет-журнал



Редакция приглашает к публикации материалов в Интернет-журнале

www.nanobuild.ru

e-mail: info@nanobuild.ru

ЯНВАРЬ • JANUARY						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
				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	31

ФЕВРАЛЬ • FEBRUARY						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
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

МАРТ • MARCH						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
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	31				

АПРЕЛЬ • APRIL						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
			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		

МАЙ • MAY						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
					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
31						

ИЮНЬ • JUNE						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
	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				

ИЮЛЬ • JULY						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
			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	31	

АВГУСТ • AUGUST						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
						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	31					

СЕНТЯБРЬ • SEPTEMBER						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
		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			

ОКТАБРЬ • OCTOBER						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
				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	31

НОЯБРЬ • NOVEMBER						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
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					

ДЕКАБРЬ • DECEMBER						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
		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	31		

из НАНО строится ГИГАуспех