



IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- Nanomodification is an effective way of forming a fine-grained weld metal structure. Improving the efficiency of nanoinoculators in the weld pool
- Наномодифицирование – эффективный способ формирования мелкозернистой структуры металла шва. Повышение эффективности наноинокуляторов в сварочной ванне
- Study of flocculating effects of ozone on wastewater of woodworking enterprises
- Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий
- Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings
- Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями
- Nanotechnology in Construction: State of the Art and Future Trends
- Нанотехнологии в строительстве: современное состояние и тенденции развития

www.nanobuild.ru

e-mail: info@nanobuild.ru

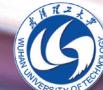
ISSUED WITH SUPPORT OF
ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING
РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



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



NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

ISSN 2075-8545 (online)

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

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

The main tasks:

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

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

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

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

The language of publication: English; Russian.

The edition's readers and authors are:

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

EDITORS

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

- Peter J.M. BARTOS**, Prof., Queen's University of Belfast, RILEM Technical Committee TC 197-NCM on Nanotechnology in Construction Materials (2002–2009), Scottish Centre for Nanotechnology in Construction Materials (University of West Scotland), Belfast, UK
- Yury M. BAZHENOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Scientific and Educational center «Nanomaterials and Nanotechnologies» Moscow, Russian Federation
- Evgeny M. CHERNYSHOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation
- Vyacheslav R. FALIKMAN**, Dr. (Mater.), Scientific Research Center «Construction», Structural Concrete Association, International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM), Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Moscow, Russian Federation
- Oleg L. FIGOVSKY**, Dr. Sci. (Eng.), Israel Polymate research center, Nanotech Industries, Inc., Daly City, California, USA; Migdal HaEmek, Israel
- Zhengyi FU**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Wuhan University of Technology, State Key Lab of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan, China
- Leonid A. IVANOV**, Cand. Sci. (Eng.), Russian Academy of Engineering, International Academy of Engineering, Center for New Technologies «NanoStroitelstvo», Moscow, Russian Federation
- Sergei V. KALIUZHNIY**, Dr. Sci. (Chem.), Prof., RUSNANO, Moscow, Russian Federation
- Vadim G. KHOZIN**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Department «Technology of Construction Materials, Products and Structures», Kazan, Russian Federation
- Evgeniy V. KOROLEV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Scientific and Educational center «Nanomaterials and nanotechnologies» Moscow, Russian Federation
- Leonid M. LYNKOV**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Department «Information Security», Minsk, Belarus
- Polad MALKIN**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Ben-Gurion University in the Negev, StartUpLab, Beer-Sheva, Israel
- Viktor S. MECHTCHERINE**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Technical University of Dresden, Institute of Construction Materials, Dresden, Germany
- Surendra P. SHAH**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Northwestern University, Evanston, Illinois, USA
- Vladimir Y. SHEVCHENKO**, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Institute of Silicate Chemistry named after I.V. Gorbushchikov of Russian Academy of Sciences, Coordinating Council on Development of Nanotechnologies attached to the Committee of the Council of the Federation of the Federal Assembly of the RF on Science, Culture, Education, Medicine and Ecology, Saint-Petersburg, Russian Federation
- Pawel SIKORA**, Ph.D., Assistant Professor, West Pomeranian University of Technology, Department of Building Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Szczecin, Poland; Technical University of Berlin, Berlin, Germany
- Konstantin G. SOBOLEV**, Prof., University of Wisconsin-Milwaukee, Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Milwaukee, Wisconsin, USA
- Valeriy I. TELICHENKO**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation
- Larisa A. URKHANOVA**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., East-Siberian State University of Technologies and Management, Department «Production of Building Materials and Wares», Ulan-Ude, Russian Federation
- Li D. XU**, Ph.D., Prof., Old Dominion University, of Information Technologies & Decision Sciences Department; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Norfolk, Virginia, USA

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

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

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

Website: <http://nanobuild.ru/>

Release date of № 4 (Vol. 12) is 20.08.2020

ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



**INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING**



**WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)**

CONTENTS

PUBLISHER INFORMATION	194
APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS	
<i>Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F.</i>	
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	
<i>Mazitova A.K., Sukhareva I.A., Sidorov G.M., Abdurakhmanova L.K., Kuznetsova E.V.</i>	
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	
<i>Belozerov V.V., Belozerov V.I.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Prus Yu.V.</i>	
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	
<i>Pisarenko Zh.V., Ivanov L.A., Wang Q.</i>	
Nanotechnology in Construction: State of the Art and Future Trends	223
PUBLISHING ETHICS	232
AUTHOR GUIDELINES.....	236

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

ISSN 2075-8545 (online)

«Нанотехнологии в строительстве» – рецензируемый научный журнал.

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

Основные задачи:

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

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

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

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

Язык издания: русский; английский.

Авторами и читателями издания являются:

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

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – ГУСЕВ Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, президент Российской инженерной академии и Международной инженерной академии, член-корреспондент РАН, лауреат Государственных 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Дата выхода в свет № 4, Том 12, 2020: 20.08.2020 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

СОДЕРЖАНИЕ

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



Nanomodification is an effective method for forming the structure of the weld metal. Part II. Increasing the efficiency of nanoinoculators in the welding bath

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

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

² Tambov State Technical University, Tambov, Russia

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

ABSTRACT: The short-term existence of the melt in the weld pool and its overheating, a large temperature gradient near the interface and two-dimensional crystallization centers, in the form of fused grains at the weld pool boundary, reduce the probability and rate of formation of crystallization centers in the liquid phase. This leads to the formation of a coarse-grained columnar structure of the weld metal, which, in combination with defects arising during crystallization, is less ductile than the fine-grained rolled metal being welded, and often causes brittle fracture of the structure. Therefore, obtaining a fine-grained structure of the weld metal is a constant problem in the welding industry.

It is now generally accepted that the most effective way to obtain a fine-grained weld metal structure is to modify the weld pool. At the same time, micro- or nanoparticles of refractory metals or their chemical compounds (inoculators) are introduced into the weld pool from the outside, as ready-made crystallization centers.

In a superheated melt, the rate of formation of crystallization centers, due to the deactivation of particles, decreases. It can be increased in two ways: by slowing down the decontamination process and by increasing the number of modifying particles introduced into the weld pool. The paper analyzes the factors that determine the modifying activity of inoculators and methods for maintaining this activity in the weld pool. To ensure high activity of the inoculator, it is necessary to reduce the time of its residence in the high-temperature zone of the weld pool; the material of the inoculator should have high values of temperature and heats of fusion, but lower values of thermal and thermal diffusivity. A decrease in the rate of heating and melting of the inoculator particles is achieved by introducing them into the weld pool, by passing the arc column and the high-temperature zone of the bath, in combination with metal particulates that act as microcoolers and means of transporting the inoculator to the tail of the bath. Nanoscale inoculators have a high thermodynamic potential and the associated high nucleating activity. Inclusions of oxides, carbides and nitrides, on the basis of which crystallization centers are formed, in the solidified metal have strong interatomic bonds with the matrix, and due to the fact that the coefficients of their thermal expansion are an order of magnitude lower than those of the matrix, after cooling the metal, they experience all-round compression. Therefore, such inclusions are not dangerous, are not concentrators of tensile stresses and centers of crack initiation. It is experimentally shown in this work that the introduction of carbon nanotubes with a specific surface area of more than 270 m²/g into the weld pool contributes to the formation of a fine-grained structure of the weld metal.

KEYWORDS: nanomodification of the weld metal, preservation of the modifying activity of inoculators in the weld pool, modification with nanocarbon tubes.

FOR CITATION: Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F. Nanomodification is an effective way of forming a fine-grained weld metal structure. Part II. Improving the efficiency of nanoinoculators in the weld pool. Nanotechnologies in Construction. 2020; 12(4): 197–203. Available from: doi:10.15828/2075-8545-2020-12-4-197-203.

INTRODUCTION

Features of the conditions of crystallization of the weld pool: overheating of the melt, a large temperature gradient near the interface and two-dimensional crystallization centers, in the form of semi-melted grains at the pool boundary, reduce the probability of the formation of crystallization centers in the liquid phase, and cause the formation of a coarse-grained columnar structure in the weld metal. Such a structure in combination with defects arising during crystallization is less ductile than the fine-grained rolled metal being welded and, often, is the cause of brittle fracture of structures. Therefore, obtaining a fine-grained structure of the weld metal is a constant problem in the welding industry. It is now generally accepted that the most effective and economical way to obtain a fine-grained weld metal structure is to modify the weld pool [1].

Modification is the process of introducing into the weld pool a small amount of modifiers-substances that, without changing the chemical composition, slow down the growth of crystals (inhibitors), or, as ready-made crystallization centers, increase the rate of nucleation (inoculators).

Inhibitors – surfactants (sfs), being deposited on the faces of a growing crystal, slow down or stop its growth for some time, during which, due to continuous heat removal, supercooling of the melt and spontaneous endogenous nucleation of new crystals occur. Modification of the weld pool with inhibitors has not yet found application in the welding industry because of the danger of hot cracks in the adsorbed intergranular layers. Therefore, to obtain a fine-grained metal structure under conditions of fusion welding (arc, electron-beam, laser), refractory inoculators are mainly used. However, due to the specific conditions of solidification of the weld pool, the modification of the metal in this case turned out to be less effective than during casting. This is due to the fact that when casting, the melt is usually overheated before pouring by only 5–8% above the liquidus temperature. And the theory of modification and the practice of foundry production have shown that with an increase in the overheating of the melt, a larger grain is formed in the casting, because the inoculators introduced into the melt lose their nucleating ability (deactivate) with increasing temperature [2, 3]. Under welding conditions, overheating of the melt in the weld pool is 2–3 times higher than during casting (16–20% of the liquidus temperature). In this regard, one of the main problems of obtaining a fine-grained structure of the weld is the problem of maintaining the modifying activity of inoculators in the weld pool.

Factors determining activity of the inoculator in the welding bath

Not all inoculant particles introduced into the weld pool become crystallization centers. It depends on the temperature of the weld pool, the residence time of the particle in the hazardous high-temperature zone, the degree of structural and dimensional conformity of its crystallizing metal. Therefore, a probabilistic approach is required to the question of the nucleation of new grains when introducing inoculators into the melt.

If N particles of the inoculator are introduced per unit volume of the melt per second, and the probability that they can become the nuclei of new grains is equal to P_N , then the rate of nucleation n in this case will be equal to the product of these quantities [$1/m^3 \cdot s$]:

$$n = N \cdot P_N \quad (1)$$

Hence it follows that the rate of nucleation in the weld pool can be increased in two ways:

- 1 – an increase in the number of modifying particles N , introduced, for example, in 1 second into the bath;
- 2 – increasing or maintaining the modifying activity of these particles, i.e. increased likelihood P_N ($0 \leq P_N \leq 1$).

The modification of the crystallizing metal, in contrast to alloying, does not change the chemical composition of the crystallizing alloy. Therefore, in order to increase the number of modifying particles N while the chemical composition of the alloy remains unchanged, it is necessary to reduce their size. In this case, not only the number of possible crystallization centers per unit volume of the liquid phase increases, but also due to an increase in the specific surface area of the particle, the probability P_N that the particle becomes an active germ of a new grain. For example, when ceramic particles with a radius of 0.05 μm (50 nm) are introduced into the melt in steel castings, a grain is obtained that is 1.5–2 times finer than in castings without a modifier. And the use of particles with a radius of the order of 0.005 microns (5 nm) provides structure refinement by 4–8 times [4].

The modifying particle on its way to the crystallization zone, moving from the head of the bath with melt flows, passes through sections with different temperatures. For a while τ_{MOD} , it is in the danger zone I_M , where the melt temperature exceeds the melting temperature of the particle T_{MOD} and where deactivation processes proceed vigorously, as a result of which the surface energy of the particle decreases. When the particle is completely melted, the interface disappears and its modifying role is completely lost. Time τ_{MOD} determined by the length I_M , the rate of melt flows from the head of the bath to the tail V_M and welding speed V_{WS} (fig.)

$$\tau_{MOD} = I_M / V_{WS} + V_M \quad (2)$$

Particle deactivation time τ_D can be simplified as the sum of three successive processes [1]:

$$\tau_D = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (3)$$

where τ_1 – heating time of the modifying particle from the initial temperature T_0 to the melting point of the inoculator T_{MOD} ; τ_2 and τ_3 – time of its melting and dissolution in the melt.

Obviously, in order to preserve the modifying activity of a particle, it is necessary that the time of its stay in the hazardous zone τ_{MOD} is less than the deactivation time τ_D :

$$\tau_{MOD} < \tau_D. \quad (4)$$

Based on the analysis of the heating, melting and dissolution time of a spherical modifying particle with a radius r in the melt with temperature T_M , the particle deactivation time can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} \tau_D = & \frac{k_1 \cdot r^2 \cdot (T_{MOD} - T_0)}{\alpha_{MOD} \cdot \Delta T_{MOD}} + \frac{k_2 \cdot r^2 \cdot L_{MOD} \cdot \rho_{MOD}}{\Delta T_{MOD} \cdot \lambda_{MOD}} + \\ & + \frac{k_3 \cdot r^2 \cdot C_c}{D \cdot C_s}, \end{aligned} \quad (5)$$

where k_1, k_2, k_3 – dimensionless coefficients; L_{MOD} , ρ_{MOD} , λ_{MOD} , α_{MOD} , T_0 and ΔT_{MOD} – respectively – heat

of fusion, density, thermal and thermal diffusivity, initial temperature and overheating of the modifier; C_c and C_s – concentration and limiting solubility of the modifier in the melt.

If we assume that the particle is insoluble in the melt, and the initial temperature of the particle $T_0 = 0$, then condition (4) takes the following form:

$$\frac{l_M}{V_{WS} + V_M} < r^2 \cdot \left(\frac{k_1 \cdot T_{MOD}}{\alpha_{MOD} \cdot \Delta T_{MOD}} + \frac{k_2 \cdot L_{MOD} \cdot \rho_{MOD}}{\Delta T_{MOD} \cdot \lambda_{MOD}} \right). \quad (6)$$

It follows from inequality (6) that the activity of the modifying particle in the weld pool depends on the technological parameters of the welding process (left side) and on its natural properties (right side of the inequality). To increase the activity of the modifier in the weld pool, it is necessary to strive to reduce the left and increase the right parts of the inequality.

The technological parameters that can be used to reduce the residence time of the particle in the hazardous zone of the melt include: the speed of welding and the movement of the particle into the tail part V_{WS} and V_M ; length of dangerous overheated zone l_M and melt temperature T_M , determining the amount of overheating $\Delta T_{MOD} = T_M - T_{MOD}$. From inequality (6) it follows that to reduce the residence time of the inoculator particle in the overheated zone, it is necessary to weld at maximum speed and take measures to reduce the length l_M and overheating ΔT_{MOD} .

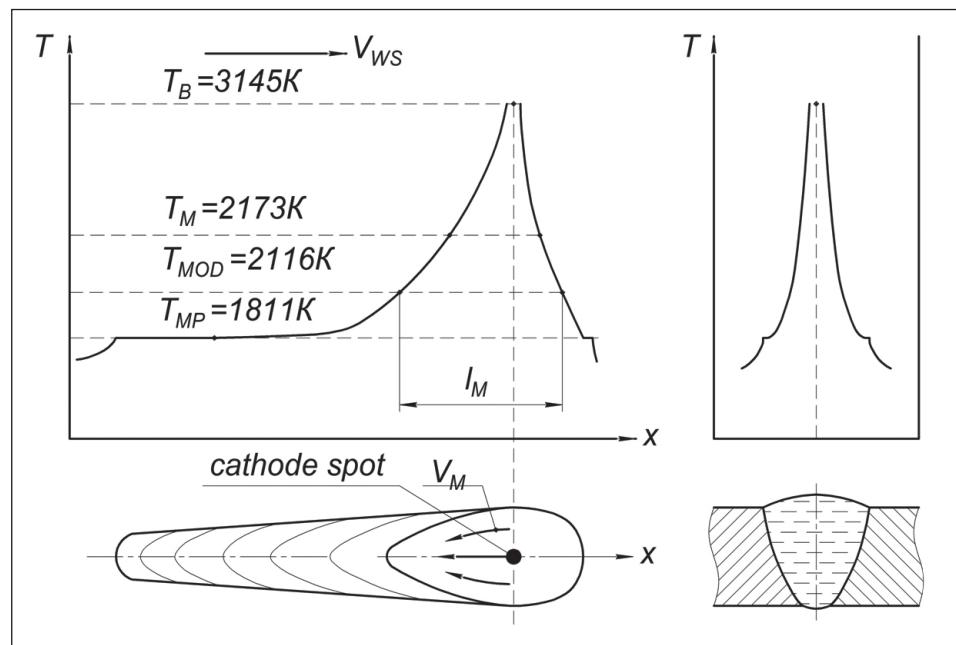


Fig. Change in the temperature of the melt along the axis of the weld pool during welding of low-carbon steel with a metal-chemical additive (modifier TiO_2) T_B , T_M , T_{MOD} and T_{MP} – boiling point of base metal, average melt temperature, melting point of modifier and melting point of base metal. l_M – modifier overheating zone length

Particle speed with melt flows V_M increases proportional to the welding speed, in addition, it can be increased by external action on the weld pool (current ripple, external magnetic field, arc oscillations, etc.).

Zone length l_M with a temperature exceeding the melting point of the particle depends on the method and point of introduction of the particle into the bath. The introduction of an inoculator into the tail of the weld pool, bypassing the arc column, minimizes the value of l_M and the time of its stay in the danger zone τ_{MOD} .

It was noted above that a decrease in the size of a particle, and the associated increase in the thermodynamic potential, sharply increases its nucleation activity. But, on the other hand, the time of heating and melting of a particle, according to (5), is proportional to the square of the size of this particle. And this means that the finer the particle, the higher the rate of its heating and melting, the faster the probability of the appearance of a new crystallization center in the melt will disappear. In addition, the high surface energy of fine particles contributes to clumping, and the low specific gravity characteristic of oxides, carbides and nitrides used in the modification of steels leads to their floatation and prevents their uniform distribution in the melt. Therefore, the direct introduction of the inoculator into the weld pool is ineffective.

To ensure high modifying activity of the inoculator particles, it is proposed to introduce them into the weld pool in combination with macroparticles made of metal of the same or similar composition as the metal being welded. Such particulates act as microcoolers, serve as a means of delivering the inoculant to the crystallization zone, lower the melt temperature, and prevent clumping and floating of modifying nanoparticles [5]. This idea was developed and applied in practice in submerged-arc welding with the so-called metal-chemical additive (MHP) [6]. MHP is a granular additive made from wire chips (granulate), which passed mechanosynthesis together with the particles of the inoculator in a high-energy planetary mill. As a result of such processing, the proportion of particles of nanoscale order increases, and due to strong chemical bonds, heat transfer to granules improves. Welding of butt seams is carried out along the MHP layer, poured into the joint gap, which ensures the introduction of modifying particles into the weld pool, bypassing the arc column.

Good results in the modification of the weld metal were obtained when the inoculator was introduced through an additional hot wire (DHW) into the tail part of the weld pool [7].

Methods for introducing inoculators, bypassing the arc column, although they allow obtaining welded joints with high indicators of plasticity and toughness of the weld metal, have a number of disadvantages. Welding on the MHP layer cannot be performed in other

spatial positions, except for the lower one, and the introduction of inoculators through the DHW requires two sources of electrical energy and two wire feeders. In addition, for high accuracy, the point of entry of additional wire into the pool, high synchronization of the wire feed mechanisms and the movement of the welding head is required. Mismatching will lead to burning or «freezing» of the wire.

In our opinion, further research should be focused on finding ways to modify the weld metal through an electrode wire. One of the promising directions in solving this problem is the use of modern digital inverter power supplies with ample opportunities to control the process of transferring electrode metal and preserve the modifying activity of inoculators. The program of operation of such sources allows one to drop from the electrode single or a series of drops of a given size, at specified time intervals, to regulate the temperature and residence time of drops on the electrode, the speed and time of their flight through the arc, etc. [8].

The natural properties of the modifier determine the time of retention of its activity in the weld pool. They must be taken into account when choosing a modifier. First of all, there should be an isomorphism between the crystal lattices of the modifier and the base metal (Dankov's rule on structural and dimensional compliance). Modifiers with the same type and close size parameters of the lattices have an advantage. In addition, the criteria for the suitability of the modifier should be its thermophysical properties. Modifiers with high values of temperature and heat of fusion, but with lower thermal conductivity and thermal diffusivity, retain their modifying activity in the weld pool longer and, therefore, are preferable.

The inoculators introduced into the weld pool, being the centers of crystallization, remain in the weld in the form of non-metallic inclusions, which, from the point of view of fracture mechanics, are stress concentrators and centers of crack initiation. Therefore, all foreign inclusions in the seam, until recently, were considered harmful. Currently, the assessment of the role of inclusions in the metal is approached selectively.

Of course, inclusions that violate the continuity of the metal (slag particles, gas cavities and pores), or reduce the forces of interatomic bonds at grain boundaries, such as S and P, are harmful. And inclusions - centers of crystallization, are currently considered as one of the control levers for the formation of the optimal microstructure of crystallizing metal [9, 10]. First, due to the small size of the inoculant particles, inclusions formed on their basis are less dangerous as stress concentrators. Secondly, the isomorphism of their crystal lattices with the matrix provides a high level of interaction forces at the interface. And due to the fact that the coefficient of thermal shrinkage of oxides, carbides, nitrides and other nonmetallic

inclusions is several times less than that of the matrix in the cooled metal, they will experience all-round compression. Therefore, under tensile stresses, a rupture at the interface is less likely.

Prospects for nanomodification of welded joints with carbon nanotubes

Nanomodification of the weld pool with carbon nanotubes (CNTs) can become a new direction of oxide metallurgy in the fight against brittle fractures of building metal structures. The unique properties of CNTs, such as a fantastically huge specific surface area (up to 2000 m²/g), testifies to their colossal adsorption capacity and refractoriness (up to 3000–4000°C), providing the presence of a CNT-melt interface [11], suggest the possibility of using CNTs as active inoculators in the weld pool.

At present, at the State Technical Universities of Voronezh (VSTU) and Tambov (TSTU), joint research is being conducted on modifying the weld metal with carbon nanotubes in arc welding of steels. Carbon nanotubes of the Taunit-M series (outer and inner diameters, respectively, 10–30 and 5–15 nm, length ≥2 μm, specific surface area ≥270 m²/g) were used as inoculators, developed and produced at OOO NanoTechCenter at TSTU, bulk density 0.025–0.06 g/cm³.

The modifying activity of Taunit-M CNTs was compared with the activity of known inoculators used in welding steels: TiO₂ – average particle size 374 nm, melting temperature 1843°C, density 4.05 g/cm³ and Al₂O₃ – average particle size 141.8 nm, temperature melting point 2050°C, density 4.23 g/cm³.

Specimens 300×250×10 mm of steel 09G2S were butt-welded in one pass by automatic submerged arc welding AN-47. Plates were collected with a gap 6⁺² mm. A granular metallochemical additive (MHP) from wire chips was poured into the gap Ø2.5×1.5 and the investigational inoculant synthesized in a planetary mill. Welding modes: constant welding current, reverse polarity –

650–750 A; arc voltage 36–38 V; welding speed 18 m/h; wire feed speed Sv08GA Ø4 mm – 85 m/hr.

Evaluation of the effectiveness of inoculators in grinding grain was given on the basis of counting the number of grains in photographs of the metal microstructure in the center of the cross-section of the weld. The counting of grains was carried out in accordance with STST 5639-82 on the area of the section bounded by a circle Ø0,798 mm, which at ×100 magnification in the photograph corresponded to a circle Ø79,8 mm. Count the number of whole grains inside the circle n_1 and crossed by its border n_2 . The total number of grains in the controlled area was calculated $n_{\Sigma} = n_1 + n_2/2$; average grain size d_a and the relative values of grain grinding in the seam by the amount n_{Σ}/n_0 and medium size d_a/d_0 grains (n_0 and d_0 – the number of grains and their average size in a seam made without a modifier).

The results of measurements and calculations are presented in the table.

The results obtained indicate that TiO₂, Al₂O₃ and Taunit-M, introduced into the weld pool, are active modifiers, which almost doubled the number of crystallization centers. The greatest modifying effect was obtained when Al₂O₃ was introduced into the weld pool. Taunit-M and titanium dioxide showed approximately the same results in terms of modifying activity.

It should be noted that the given comparative quantitative assessment of the activity of inoculators is very rough, since the equality of the conditions of their interaction with the melt (inequality of particle sizes and concentration, adhesion forces with the granulate, etc.) is not maintained. This experiment searches, allowing to confirm or disprove the possibility of CNTs to influence the process of crystallization and formation of the weld metal structure. The experimental results allow us to conclude that the introduction of carbon nanotubes into the weld pool contributes to the formation of a fine-grained structure of the weld metal, and research in the field of using such nanoparticles to improve the structure and properties of welded joints is relevant and promising.

Table

Inoculator	Number of grains, pcs			Grain size, mm	Relative fineness	
	n_1	n_2	n_{Σ}		n_{Σ}/n_0	d_a/d_0
without inocul.	148	49	173	0.054	1	1
TiO ₂	307	49	332	0.039	1.81	1.38
Al ₂ O ₃	372	54	399	0.035	2.2	1.54
Taunite-M	308	64	340	0.038	1.85	1.42

CONCLUSIONS

1. Nanomodification of the weld pool, today, is the most effective way to obtain a fine-grained structure of the welded seam during factory and assembly welding of large-sized structures that are not subjected to subsequent heat treatment.

2. To maintain the modifying activity of the inoculator particles, it is necessary to reduce the time of their stay in the high-temperature zone, and the material of the particles must have high values of temperature and heats of fusion, but lower thermal conductivity and thermal diffusivity.

3. Inclusions of oxides, carbides and nitrides, on the basis of which crystallization centers are formed, in the solidified metal have strong interatomic bonds with the matrix, and due to the fact that the coefficients of their thermal expansion are an order of magnitude lower than those of the matrix, after cooling the metal, they undergo a comprehensive compression. Therefore, such inclusions are not dangerous, they are not tensile stress concentrates and crack initiation sites.

4. It has been shown experimentally that the introduction of CNTs into the weld pool as inoculators promotes the formation of a fine-grained structure of the weld metal.

Part I of the paper «Nanomodification is an effective method for forming the structure of the weld metal» by Boldyrev A.M., Sizintsev S.V., Sannikov V.G., Pershin V.F. has been published in the issue 3/2020 of the journal «Nanotechnologies in Construction».

REFERENCES

1. Boldyrev A.M., Grigorash V.V. Problems of micro- and nano-modification of seams during welding of building metal structures. *Nanotechnologies in Construction*. 2011; 3(3): 42–52. Available from: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_3_2011_RUS.pdf [Accessed 14th August 2020]. (In Russian).
2. Balandin G.F. Formation of the crystal structure of castings. Moscow: Mechanical engineering; 1973. (In Russian).
3. Dankov P.A. Crystal-chemical mechanism of interaction of the crystal surface with foreign elementary particles. *Physical chemistry*. 1946;8: 853-867. (In Russian).
4. Kalinina A.P., Cherepanov A.N., Poluboyarov V.A., Korotaeva Z.A. Mathematical model of nucleation in liquid metals on ultradispersed ceramic particles. *Journal of Physical Chemistry*. 2001; 75(2): 275-281. (In Russian).
5. Boldyrev A.M., Petrov A.S., Doroфеев E.B. Method of electric arc welding. Invention certificate USSR No. 584996 Cl V 23 K 9/00, 17.04.76. (In Russian).
6. Boldyrev A.M., Grigorash V.V., Gushchin D.A., Grebenchuk V.G. Investigation of the adhesion strength of particles in a modifying additive for submerged arc welding of bridge structures. *Nano-technologies in Construction*. 2012;4(2): 56–69. Available from: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2012_RUS.pdf. [Accessed 14th August 2020]. (In Russian).
7. Aleshin N.P., Yakushin B.F., Kobernik N.V., Kilev V.S. Improvement of the process of cold-resistant steels by optimizing the balance of thermal energy of an arc source. *Welding production*. 2018;10: 3-13. (In Russian).
8. Fedyukin S.V., Karasev M.V., Kolodyazhny D.Yu., Zhuk V.V. A new generation of industrial import-substituting inverter welding machines for mechanized gas-shielded metal electrode welding of a standard type and with separation of the arc and short circuit phase control. *Welding and Diagnostics*. 2017;5: 49-53. (In Russian).
9. Golovko V.V., Boldyrev A.M., Gushchin D.A., Kuznetsov V.D., Fomichev S.K., Smirnov I.V. Peculiarities of distribution and the role of non-metallic inclusions in the weld metal when nano-oxides are introduced into the weld pool. *Welding and diagnostics*. 2015;6: 25-29. (In Russian).
10. Ma, Z.T., Janke D. Oxide metallurgy-its purposes and practical approaches. *Acta Metall*. 1998;11(2): 79-86.
11. Davydov S.V. Nanomodifier as a tool for genetic engineering of the structural state of cast iron melt. Collection of reports of the Foundry Council No. 1 «Modification as an effective tool for improving the quality of cast iron and steels». Chelyabinsk: Chelyabinsk House of Press; 2006. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boldyrev Alexander Mikhailovich, Dr. of tech. Sci., Cor. RAASN, Prof. of the department of «Metal and Wooden Structures», Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-4112>, e-mail: boldyreff@inbox.ru

Sizintsev Sergey Valerievich, ass. in the department of «Metal and Wooden Structures», Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4890-264X>, e-mail: sizincev.1991@mail.ru

Sannikov Vladimir Gennadievich, Cand. of physical-mat. Sciences, Assoc. Prof. of the department of «Physics», Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6153-5920>, e-mail: sannikov@mail.ru

Pershin Vladimir Fedorovich, Dr. of tech. sciences, Prof. of the department of «Technique and technologies for the production of nanoproducts», Tambov State Technical University (TSTU); Tambov, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0213-9001>, e-mail: pershin.home@mail.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 30.04.2020.

Revised: 26.05.2020.

Accepted: 02.06.2020.



Наномодифицирование – эффективный способ формирования структуры металла шва. Часть II. Повышение эффективности наноинокуляторов в сварочной ванне

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

¹ Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

² Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

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

РЕЗЮМЕ: Кратковременность существования расплава в сварочной ванне и его перегрев, большой градиент температуры вблизи межфазной границы и двухмерные центры кристаллизации в виде оплавленных зерен на границе сварочной ванны уменьшают вероятность и скорость образования центров кристаллизации в жидкой фазе. Это обуславливает формирование крупнозернистой столбчатой структуры металла шва, которая в сочетании с дефектами, возникающими в процессе кристаллизации, менее пластична, чем свариваемый мелкозернистый металлопрокат, и часто является причиной хрупкого разрушения конструкции. Поэтому получение мелкозернистой структуры металла шва является постоянной проблемой сварочного производства.

В настоящее время общепризнано, что наиболее эффективным способом получения мелкозернистой структуры металла шва является модифицирование сварочной ванны. При этом в сварочную ванну извне, в качестве готовых центров кристаллизации, вводят микро- или наночастицы тугоплавких металлов или их химических соединений (инокуляторы).

В перегретом расплаве скорость образования центров кристаллизации, из-за дезактивации частиц, снижается. Увеличить ее можно двумя способами: торможением процесса дезактивации и увеличением числа модифицирующих частиц, вводимых в сварочную ванну. В работе дан анализ факторов, определяющих модифицирующую активность инокуляторов и способов сохранения этой активности в сварочной ванне. Для обеспечения высокой активности инокулятора необходимо сокращать время его пребывания в высокотемпературной зоне сварочной ванны, материал инокулятора должен иметь высокие значения температуры и теплоты плавления, но более низкие значения тепло- и температуропроводности. Уменьшение скорости нагрева и плавления частиц инокулятора достигается введением их в сварочную ванну, минуя столб дуги и высокотемпературную зону ванны, в комплексе с металлическими макрочастицами, выполняющими роль микрохолодильников и средств транспортировки инокулятора в хвостовую часть ванны. Инокуляторы наноразмерного порядка обладают высоким термодинамическим потенциалом и связанной с этим высокой зародышеобразующей активностью. Включения оксидов, карбидов и нитридов, на базе которых формируются центры кристаллизации, в затвердевшем металле имеют прочные межатомные связи с матрицей, а в силу того, что коэффициенты их термического расширения на порядок меньше, чем матрицы, после охлаждения металла испытывают всестороннее сжатие. Поэтому такие включения не опасны, не являются концентраторами растягивающих напряжений и очагами зарождения трещин. В работе экспериментально показано, что введение в сварочную ванну углеродных нанотрубок с удельной поверхностью более 270 м²/г способствует получению мелкозернистой структуры металла шва.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наномодифицирование металла шва, сохранение модифицирующей активности инокуляторов в сварочной ванне, модифицирование наноуглеродными трубками.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Болдырев А.М., Сизинцев С.В., Санников В.Г., Першин В.Ф. Наномодифицирование – эффективный способ формирования структуры металла шва. Часть II. Повышение эффективности наноинокуляторов в сварочной ванне // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 4. – С. 197–203. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-4-197-203.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности условий кристаллизации сварочной ванны: перегрев расплава, большой градиент температуры вблизи межфазной границы и двухмерные центры кристаллизации в виде полуоплавленных зерен на границе ванны – уменьшают вероятность образования центров кристаллизации в жидкой фазе и обусловливают формирование в металле шва крупнозернистой столбчатой структуры. Такая структура в сочетании с дефектами, возникающими в процессе кристаллизации, менее пластична, чем свариваемый мелкозернистый металлопрокат, и часто является причиной хрупкого разрушения конструкций. Поэтому получение мелкозернистой структуры металла шва является постоянной проблемой сварочного производства. В настоящее время общепризнано, что наиболее эффективным и экономичным способом получения мелкозернистой структуры металла шва является модифицирование сварочной ванны [1].

Модифицирование – это процесс введения в сварочную ванну незначительного количества модификаторов-веществ, которые, не меняя химический состав, замедляют рост кристаллов (ингибиторы) или в качестве готовых центров кристаллизации увеличивают скорость зародышеобразования (инокуляторы).

Ингибиторы – поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые, осаждаясь на гранях растущего кристалла, замедляют или приостанавливают его рост на некоторое время, за которое вследствие непрерывного теплоотвода происходит переохлаждение расплава и спонтанное эндогенное зарождение новых кристаллов. Модифицирование сварочной ванны ингибиторами пока не нашло применения в сварочном производстве из-за опасности возникновения горячих трещин по адсорбированным межзеренным прослойкам. Поэтому для получения мелкозернистой структуры металла в условиях сварки плавлением (дуговая, электронно-лучевая, лазерная) в основном применяют тугоплавкие инокуляторы. Однако из-за специфики условий кристаллизации сварочной ванны модифицирование металла при этом оказалось менее эффективным, чем при литье. Это объясняется тем, что при литье расплав перед заливкой обычно перегрет всего на 5–8% выше температуры ликвидус. А теория модифицирования и практика литейного производства показали, что с увеличением перегрева расплава в отливке формируется более крупное зерно, потому что вводимые в расплав инокуляторы с повышением температуры теряют зародышеобразующую способность (дезактивируются) [2, 3]. В условиях сварки перегрев расплава в сварочной ванне в 2–3 раза больше, чем при литье (16–20% от температуры ликвидус). В связи

с этим, одной из главных проблем получения мелкозернистой структуры сварного шва является проблема сохранения модифицирующей активности инокуляторов в сварочной ванне.

Факторы, определяющие активность инокулятора в сварочной ванне

Не все частицы инокулятора, введенные в сварочную ванну, становятся центрами кристаллизации. Это зависит от температуры сварочной ванны, времени пребывания частицы в опасной высокотемпературной зоне, степени структурного и размерного соответствия ее кристаллизующемуся металлу. Поэтому к вопросу зародышеобразования новых зерен при введении инокуляторов в расплав необходим вероятностный подход.

Если в единицу объема расплава за одну секунду вводится N частиц инокулятора, а вероятность того, что они могут стать зародышами новых зерен равна P_N , то скорость зародышеобразования n в этом случае будет равна произведению этих величин [$1/\text{м}^3 \cdot \text{с}$]:

$$n = N \cdot P_N \quad (1)$$

Отсюда следует, что увеличить скорость зародышеобразования в сварочной ванне можно двумя путями:

1 – увеличением числа модифицирующих частиц N , вводимых, например, за 1 сек. в ванну; 2 – повышением или сохранением модифицирующей активности этих частиц, т.е. увеличением вероятности P_N ($0 \leq P_N \leq 1$).

Модифицирование кристаллизующегося металла, в отличие от легирования, не изменяет химический состав кристаллизующегося сплава. Поэтому для увеличения числа модифицирующих частиц N при неизменности химического состава сплава необходимо уменьшение их размеров. При этом увеличивается не только число возможных центров кристаллизации в единице объема жидкой фазы, но и в связи с увеличением удельной поверхности частицы возрастает вероятность P_N того, что частица станет активным зародышем нового зерна. Например, при введении в расплав керамических частиц радиусом 0,05 мкм (50 нм) в отливках из стали получают зерно в 1,5–2 раза мельче, чем в отливках без модификатора. А применение частиц с радиусом порядка 0,005 мкм (5 нм) обеспечивает измельчение структуры в 4–8 раз [4].

Модифицирующая частица на пути в зону кристаллизации, перемещаясь из головной части ванны с потоками расплава, проходит участки с различной температурой. Некоторое время τ_M она находится в опасной зоне l_M , где температура расплава пре-

вышает температуру плавления частицы T_M и где энергично протекают дезактивационные процессы, в результате которых уменьшается поверхностная энергия частицы. При полном расплавлении частицы исчезает межфазная граница и полностью утрачивается ее модифицирующая роль. Время τ_M определяется длиной l_M , скоростью потоков расплава из головной части ванны в хвостовую V_p и скоростью сварки V_{CB} (рис.):

$$\tau_M = l_M / V_{CB} + V_p. \quad (2)$$

Время дезактивации частицы τ_d упрощенно можно представить как сумму трех последовательных процессов [1]:

$$\tau_d = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (3)$$

где τ_1 – время нагрева модифицирующей частицы от начальной температуры T_0 до температуры плавления инокулятора T_M ; τ_2 и τ_3 – время ее плавления и растворения в расплаве.

Очевидно, что для сохранения модифицирующей активности частицы необходимо, чтобы время ее пребывания в опасной зоне τ_M было меньше времени дезактивации τ_d :

$$\tau_M < \tau_d. \quad (4)$$

На основании анализа времени нагрева, плавления и растворения сферической модифицирующей частицы радиусом r в расплаве с температурой T_p время дезактивации частицы можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} \tau_d = & \frac{k_1 \cdot r^2 \cdot (T_M - T_0)}{\alpha_M \cdot \Delta T_M} + \frac{k_2 \cdot r^2 \cdot L_M \cdot \rho_M}{\Delta T_M \cdot \lambda_M} + \\ & + \frac{k_3 \cdot r^2 \cdot C_M}{D \cdot C_{pp}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где k_1, k_2, k_3 – безразмерные коэффициенты; L_M , ρ_M , λ_M , α_M , T_0 и ΔT_M – соответственно, теплота плавления, плотность, тепло- и температуропроводность, начальная температура и перегрев модификатора; C_M и C_{pp} – концентрация и предельная растворимость модификатора в расплаве.

Если принять, что частица нерастворима в расплаве, а начальная температура частицы $T_0 = 0$, то условие (4) принимает следующий вид:

$$\frac{l_M}{V_{CB} + V_p} < r^2 \cdot \left(\frac{k_1 \cdot T_M}{\alpha_M \cdot \Delta T_M} + \frac{k_2 \cdot L_M \cdot \rho_M}{\Delta T_M \cdot \lambda_M} \right). \quad (6)$$

Из неравенства (6) следует, что активность модифицирующей частицы в сварочной ванне зависит от технологических параметров процесса сварки (ле-

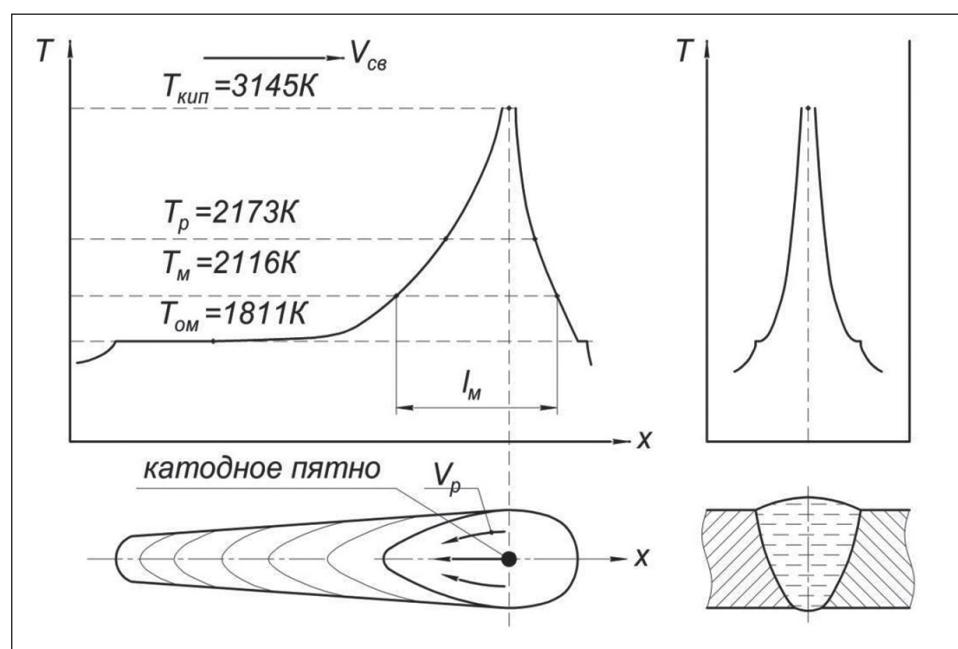


Рис. Изменение температуры расплава по оси сварочной ванны при сварке низкоуглеродистой стали с металлохимической присадкой (модификатор TiO_2): T_{kip} , T_p , T_M и T_{om} – температура кипения основного металла, средняя температура расплава, температура плавления модификатора и температура плавления основного металла; l_M – длина зоны перегрева модификатора

вая часть) и от природных ее свойств (правая часть неравенства). Для повышения активности модификатора в сварочной ванне необходимо стремиться к уменьшению левой и увеличению правой частей неравенства.

К технологическим параметрам, с помощью которых можно сократить время пребывания частицы в опасной зоне расплава, относятся: скорость сварки и движения частицы в хвостовую часть ванны V_{cb} и V_p ; длина опасной перегретой зоны l_m и температура расплава T_p , определяющая величину перегрева $\Delta T_m = T_p - T_m$. Из неравенства (6) следует, что для уменьшения времени пребывания частицы инокулятора в перегретой зоне необходимо сварку производить на максимальной скорости и принимать меры о сокращении длины l_m и перегрева ΔT_m .

Скорость движения частицы с потоками расплава V_p возрастает пропорционально скорости сварки, кроме того ее можно увеличивать с помощью внешнего воздействия на сварочную ванну (пульсация тока, внешнее магнитное поле, колебания дуги и др.).

Длина зоны l_m с температурой, превышающей температуру плавления частицы, зависит от способа и точки ввода частицы в ванну. Введение инокулятора в хвостовую часть сварочной ванны, минуя столб дуги, сокращает до минимума величину l_m и время его пребывания в опасной зоне τ_m .

Выше отмечено, что уменьшение размера частицы и связанное с этим повышение термодинамического потенциала резко увеличивает ее зародышеобразующую активность. Но, с другой стороны, время нагрева и плавления частицы, согласно с (5), пропорционально квадрату размера этой частицы. А это означает, что чем мельче частица, тем выше скорость ее нагрева и плавления, тем быстрее исчезнет вероятность появления в расплаве нового центра кристаллизации. Кроме того, высокая поверхностная энергия мелких частиц способствует комкованию, а малый удельный вес, характерный для оксидов, карбидов и нитридов, используемых при модифицировании сталей, приводит к их всплытию и препятствуют равномерному распределению в расплаве. Поэтому непосредственное введение инокулятора в сварочную ванну малоэффективно.

Для обеспечения высокой модифицирующей активности частиц инокулятора предложено их вводить в сварочную ванну в комплексе с макрочастицами из металла того же или близкого состава, что и свариваемый металл. Такие макрочастицы выполняют роль микрохолодильников, служат средством доставки инокулятора в зону кристаллизации, понижают температуру расплава, препятствуют комкованию и всплытию модифицирующих наночастиц [5]. Эта идея получила развитие и практическое применение при сварке под флюсом, с так называемой метал-

лохимической присадкой (МХП) [6]. МХП – это гранулированная присадка из проволочной крошки (гранулята), прошедшей совместно с частицами инокулятора механосинтез в высокоэнергетической планетарной мельнице. В результате такой обработки увеличивается доля частиц наноразмерного порядка, и за счет прочных химических связей улучшается теплоотдача в гранулы. Сварка стыковых швов производится по слою МХП, засыпаемой в зазор стыка, что обеспечивает ввод модифицирующих частиц в сварочную ванну, минуя столб дуги.

Хорошие результаты модифицирования металла шва получены при введении инокулятора через дополнительную горячую проволоку (ДГП) в хвостовую часть сварочной ванны [7].

Способы ввода инокуляторов, минуя столб дуги, хотя и позволяют получить сварные соединения с высокими показателями пластичности и вязкости металла шва, но имеют и ряд недостатков. Сварку по слою МХП невозможно выполнять в других пространственных положениях, кроме нижнего, а введение инокуляторов через ДГП требует наличия двух источников электрической энергии и двух механизмов подачи проволоки. Кроме того, для большой точности точки ввода дополнительной проволоки в ванну необходима высокая синхронность работы механизмов подачи проволоки и движения сварочной головки. Рассогласование приведет к обгоранию или «примерзанию» проволоки.

По нашему мнению, дальнейшие исследования следует сосредоточить на изыскании способов модифицирования металла шва через электродную проволоку. Одним из перспективных направлений в решении этой задачи является использование современных цифровых инверторных источников питания с широкими возможностями управления процессом переноса электродного металла и сохранения модифицирующей активности инокуляторов. Программа работы таких источников позволяет сбрасывать с электрода одиночные или серию капель заданного размера через заданные промежутки времени, регулировать температуру и время пребывания капель на электроде, скорость и время их пролета через дугу и др. [8].

Природные свойства модификатора определяют время сохранения его активности в сварочной ванне. Их необходимо учитывать при выборе модификатора. В первую очередь, должна быть изоморфность кристаллических решеток модификатора и основного металла (правило Данкова о структурном и размерном соответствии). Преимущество имеют модификаторы с одинаковым типом и близкими размерными параметрами решеток. Кроме того, критериями пригодности модификатора должны быть его теплофизические свойства. Модификаторы

ры с высокими значениями температуры и теплоты плавления, но с более низкими тепло- и температуропроводностью дольше сохраняют модифицирующую активность в сварочной ванне и, следовательно, предпочтительны.

Введенные в сварочную ванну инокуляторы, являясь центрами кристаллизации, остаются в шве в виде неметаллических включений, которые, с точки зрения механики разрушения, являются концентраторами напряжений и очагами зарождения трещин. Поэтому все инородные включения в шве до недавнего времени считались вредными. Сейчас к оценке роли включений в металле подходят избирательно.

Безусловно, включения, нарушающие сплошность металла (частицы шлака, газовые полости и поры) или уменьшающие силы межатомных связей на границах зерен, такие как *S* и *P*, являются вредными. А включения – центры кристаллизации в настоящее время рассматриваются как один из рычагов управления формированием оптимальной микроструктуры кристаллизующегося металла [9, 10]. Во-первых, вследствие малых размеров частиц инокулятора включения, образовавшиеся на их базе, менее опасны как концентраторы напряжений. Во-вторых, изоморфность их кристаллических решеток с матрицей обеспечивает высокий уровень сил взаимодействия на межфазной границе. А в связи с тем, что коэффициент термической усадки оксидов, карбидов, нитридов и др. неметаллических включений в разы меньше, чем у матрицы, в остывшем металле они будут испытывать всестороннее сжатие. Поэтому при растягивающих напряжениях разрыв на межфазной границе менее вероятен.

Перспективы наномодификации сварных швов углеродными нанотрубками

Новым направлением оксидной металлургии в борьбе с хрупкими разрушениями строительных металлоконструкций может стать наномодификация сварочной ванны углеродными нанотрубками (УНТ). Уникальные свойства УНТ, такие как фантастически огромная удельная поверхность (до 2000 м²/г), свидетельствует о колоссальной их адсорбционной способности и тугоплавкости (до 3000–4000°C), обеспечивающей наличие границы раздела УНТ-расплав [11], позволяют предположить о возможности использования УНТ в качестве активных инокуляторов в сварочной ванне.

В настоящее время в государственных технических университетах Воронежа (ВГТУ) и Тамбова (ТГТУ) проводятся совместные исследования модификации металла шва углеродными нанотрубками при дуговой сварке сталей. В качестве инокуляторов применяли разработанные и производимые

в ООО «НаноТехЦентр» при ТГТУ углеродные нанотрубки серии «Таунит-М» (внешний и внутренний диаметры, соответственно 10–30 и 5–15 нм, длина ≥2 мкм, удельная поверхность ≥270 м²/г, насыпная плотность 0,025–0,06 г/см³).

Модифицирующую активность УНТ «Таунит-М» сравнивали с активностью известных инокуляторов, применяемых при сварке сталей: TiO₂ – средний размер частиц 374 нм, температура плавления 1843°C, плотность 4,05 г/см³ и Al₂O₃ – средний размер частиц 141,8 нм, температура плавления 2050°C, плотность 4,23 г/см³.

Образцы 300×250×10 мм из стали 09Г2С сваривали встык за один проход автоматической сваркой под флюсом АН-47. Пластины собирали с зазором 6⁺² мм. В зазор засыпали гранулированную металлохимическую присадку (МХП) из проволочной крошки Ø2,5×1,5 и исследуемого инокулятора, синтезированных в планетарной мельнице. Режимы сварки: сварочный ток постоянный, полярность обратная – 650–750 А; напряжение на дуге 36–38 В; скорость сварки 18 м/ч; скорость подачи электродной проволоки Св08ГА Ø4 мм – 85 м/ч.

Оценку эффективности инокуляторов в измельчении зерна давали на основе подсчета количества зерен на фотографиях микроструктуры металла в центре поперечного сечения шва. Подсчет зерен производили в соответствии с ГОСТ 5639-82 на площади шлифа, ограниченной окружностью Ø0,798 мм, что при увеличении ×100 на фотографии соответствовала окружности Ø79,8 мм. Подсчитывали количество целых зерен внутри окружности *n*₁ и пересеченных ее границей *n*₂. Вычисляли общее количество зерен на контролируемой площади *n*_Σ = *n*₁ + *n*₂/2; средний размер зерна *d*_{CP} и относительные величины измельчения зерна в шве по количеству *n*_Σ/*n*₀ и среднему размеру *d*_{CP}/*d*₀ зерен (*n*₀ и *d*₀ – количество зерен и их средний размер в шве, выполненнном без модификатора).

Результаты измерений и вычислений представлены в табл.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что TiO₂, Al₂O₃ и Таунит-М, введенные в сварочную ванну, являются активными модификаторами, почти в 2 раза увеличивающими количество центров кристаллизации. Наибольший модифицирующий эффект получен при введении в сварочную ванну Al₂O₃. Таунит-М и диоксид титана по модифицирующей активности показали примерно одинаковые результаты.

Необходимо заметить, что приведенная сравнительная количественная оценка активности инокуляторов является весьма грубой, так как не выдержано равенство условий их взаимодействия с расплавом (неравенство размеров частиц и концентрации, сил

Таблица

Инокулятор	Количество зерен, шт.			d_{cp}	n_{Σ}/n_0	d_{cp}/d_0
	n_1	n_2	n_{Σ}			
без инокул.	148	49	173	0,054	1	1
TiO ₂	307	49	332	0,039	1,81	1,38
Al ₂ O ₃	372	54	399	0,035	2,2	1,54
Таунит-М	308	64	340	0,038	1,85	1,42

сцепления с гранулятом и др.). Данный эксперимент является поисковым, позволяющим подтвердить или опровергнуть возможность УНТ влиять на процесс кристаллизации и формирование структуры металла шва. Результаты эксперимента позволяют сделать заключение, что введение в сварочную ванну углеродных нанотрубок способствует получению мелкозернистой структуры металла шва, а исследования в области применения таких наночастиц для улучшения структуры и свойств сварных соединений актуальны и перспективны.

ВЫВОДЫ

1. Наномодифицирование сварочной ванны на сегодняшний день является наиболее эффективным способом получения мелкозернистой структуры сварного шва при заводской и монтажной сварке крупногабаритных конструкций, не подвергающихся последующей термической обработке.

2. Для сохранения модифицирующей активности частиц инокулятора необходимо сокращать время их пребывания в высокотемпературной зоне, а материал частиц должен иметь высокие значения температуры и теплоты плавления, но более низкие тепло- и температуропроводность.

3. Включения оксидов, карбидов и нитридов, на базе которых формируются центры кристаллизации, в затвердевшем металле имеют прочные межатомные связи с матрицей, а в силу того, что коэффициенты их термического расширения на порядок меньше, чем матрицы, после охлаждения металла испытывают всестороннее сжатие. Поэтому такие включения не опасны, не являются концентратами растягивающих напряжений и очагами зарождения трещин.

4. Экспериментально показано, что введение в сварочную ванну УНТ в качестве инокуляторов способствует получению мелкозернистой структуры металла шва.

Часть 1 статьи Болдырева А.М., Сизинцева С.В., Санникова В.Г., Першина В.Ф. «Наномодифицирование – эффективный способ формирования структуры металла шва» опубликована в номере 3/2020 журнала «Нанотехнологии в строительстве».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болдырев А.М., Григораш В.В. Проблемы микро- и наномодифицирования швов при сварке строительных металлоконструкций // Нанотехнологии в строительстве. – 2011. – Том 3, № 3. – С. 42 – 52. – URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/_Nanobuild_3_2011_RUS.pdf (дата обращения: 22.11.2016).
- Баландин Г.Ф. Формирование кристаллического строения отливок. – М.: Машиностроение, 1973. – 287 с.
- Данков П.А. Кристаллохимический механизм взаимодействия поверхности кристалла с чужеродными элементарными частицами // Физическая химия. – 1946. – № 8. – С. 853–867.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

4. Калинина А.П., Черепанов А.Н., Полубояров В.А., Коротаева З.А. Математическая модель нуклеации в жидкых металлах на ультрадисперсных керамических частицах // Журнал физической химии. – 2001. – Т. 75. – № 2. – С. 275–281.
5. Болдырев А.М., Петров А.С., Дорофеев Э.Б. Способ электродуговой сварки // Авт.свид. СССР № 584996 Кл В 23 К 9/00, 17.04.76.
6. Болдырев А.М., Григораш В.В., Гущин Д.А., Гребенчук В.Г. Исследование прочности сцепления частиц в модифицирующей присадке для сварки мостовых конструкций под флюсом // Нанотехнологии в строительстве. – 2012. – Том 4, № 2. – С. 56–69. – Гос. регистр. №0421000108. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2012_RUS.pdf.
7. Алешин Н.П., Якушин Б.Ф., Коберник Н.В., Килев В.С. Совершенствование процесса хладостойких сталей путем оптимизации баланса тепловой энергии дугового источника // Сварочное производство. – 2018. – № 10. – С. 3–13.
8. Федюкин С.В., Каравес М.В., Колодяжный Д.Ю., Жук В.В. Новое поколение промышленных импортозамещающих инверторных сварочных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе стандартного типа и с разделением управления фаз горения дуги и короткого замыкания // Сварка и диагностика. – 2017. – № 5. – С. 49–53.
9. Головко В.В., Болдырев А.М., Гущин Д.А., Кузнецов В.Д., Фомичев С.К., Смирнов И.В. Особенности распределения и роль неметаллических включений в металле шва при введении в сварочную ванну нанооксидов // Сварка и диагностика. – 2015. – № 6. – С. 25–29.
10. Ma, Z.T., Janke D. Uxide metallurgy-its purposes and practical approaches // Acta Metall. – 1998. – Vol. 11, № 2. – P. 79–86.
11. Давыдов С.В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна // Сборник докладов Литейного консилиума № 1 «Модифицирование как эффективный инструмент повышения качества чугуна и сталей». – Челябинск: Челябинский дом печати, 2006. – 40 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 30.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 26.05.2020.

Статья принята к публикации: 02.06.2020.



Study of flocculating effects of ozone on wastewater of woodworking enterprises

A.K. Mazitova , I.A. Sukhareva* , G.M. Sidorov, L.K. Abdrikhmanova, E.V. Kuznetsova

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

* Corresponding author: e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

ABSTRACT: The sewer of woodworking enterprises in the construction industry are characterized by a high content of suspended and dissolved toxic substances, including phenol, and a high value of chemical oxygen consumption (COD). At the same time, some enterprises do not have their own local treatment facilities and need to develop their own integrated treatment systems. One of the effective methods for removing pollution is wastewater ozonation, used in three versions: flocculation with small doses of ozone (pre-ozonation) at the initial stage to remove suspended substances, oxidative ozonation and decontamination. However, methods for treating wastewater from wood processing plants using ozone have not been sufficiently studied. Therefore, we investigated the flocculating effect of ozone in the process of cleaning the effluents of the plywood-plate mill, tested the effect of the dose of ozone during flocculation in the presence of a small number of coagulants VPK-402 and Kaustamine-15 on the concentration of suspended substances, phenol and COD value. VPK-402 and Kaustamine-15 – reagents of regional production, are low-toxic and are allowed for use in the treatment of even drinking water. The results of the experiments on the pre-ozonation of wastewater showed a high efficiency of this method, which allows reducing COD by 3.8 (VPK-402) and 2.3 times (Kaustamine-15), phenol content by 2.9 (VPK-402) and 1.9 times (Kaustamine-15), suspended content by 4.0 (ВПК-402) and 3.5 times (Kaustamine-15). The use of pre-ozonation makes it possible to completely abandon flocculants in the physicochemical stage of wastewater treatment. Coagulation-flocculation can be successfully carried out with ozone and coagulant in small doses of 2–5 and 40 mg/dm³ (VPK-402) or 50 mg/dm³ (Kaustamine-15), respectively, for 5 minutes. Physicochemical indicators of water quality improved compared to treatment with coagulant alone: COD decreased by 23%, phenol content by 55%, suspended substances by 22%. The use of ozone as a flocculant in the clarification of wastewater reduces the cost of reagents, prevents secondary contamination of water, and increases the efficiency of further oxidative treatment.

KEYWORDS: coagulant, flocculant, ozonation, wastewater from woodworking enterprises.

FOR CITATION: Mazitova A.K., Sukhareva I.A., Sidorov G.M., Abdrikhmanova L.K., Kuznetsova E.V. Study of flocculating effects of ozone on wastewater of woodworking enterprises. Nanotechnologies in Construction. 2020;12(4): 204–210. Available from: doi:10.15828/2075-8545-2020-12-4-204-210.

INTRODUCTION

The production of wood chip materials is accompanied by pollution of wastewater with a large amount of suspended and dissolved toxic substances, including phenol, leading to a significant increase in the indicator of chemical oxygen consumption (COD), chromaticity and turbidity. At the same time, some enterprises do not have their own local treatment facilities and need to develop their own integrated treatment systems. At the initial stage of the technological scheme for the purification of such effluents, the necessary process is the precipitation of dissolved and suspended substances. We have previously investigated this purification method using

various coagulants and flocculants [1–3]. The efficiency and economy of the processes of coagulation treatment of wastewater are determined by the stability of the dispersion system, which depends on a number of factors: the degree of dispersion, the nature of the surface of the particles, the value of the electrokinetic potential, the chemical nature of impurities (the presence of electrolytes, high molecular weight substances), the concentration of impurities, etc. In practice, water treatment uses different coagulants [4–7]. The most widespread compounds were aluminum, iron, magnesium and calcium. A feature of the coagulation treatment of waste water is the need to use coagulants that do not cause secondary water contamination. We have selected the most effective

coagulants and flocculants and their optimal doses for treatment of waste water of plywood-plate mills. Solutions of aluminum sulfate, iron (III) chloride, iron (II) sulfate and aluminum oxychloride (AlOCl) were tested as coagulants and their optimal doses were determined: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 268 mg/dm³, FeCl_3 – 80 mg/dm³, FeSO_4 – 180 mg/dm³, AlOCl – 165 mg/dm³. To maximize the recovery of contaminants, the coagulation process was carried out in a range of optimal pH values that are directly related to the pH of the existence of the corresponding coagulant hydroxides. The greatest effect of wastewater treatment when used as a coagulant based on aluminum salts is achieved in the range of medium pH values from 6.5 to 8; when using iron salts – in the range of pH values from 4.1 to 14.0 [8]. As flocculants, we tested 0.1% solution of polyacrylamide (PAA), 0.5% solution of activated silicic acid (ASC), and 0.1% solution of cationic polyacrylamide brand REF FC. Optimal doses of flocculants are: PAA – 45 mg/dm³, ACC – 53 mg/dm³, REF FC – 40 mg/dm³. The results of the comparative analysis of the effect of the nature of the coagulant and flocculant on the degree of wastewater treatment of the plywood-plate mill showed the best results with the combination of PAA and AlOCl (COD decreases to 2100 mgO₂/dm³), REF FC and AlOCl (COD decreases to 2110 mgO₂/dm³); when PAA and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, REF FC and AlOCl are combined, the formaldehyde content in water is reduced to 0.05 mg/dm³; using AlOCl coagulant in combination with REF FC flocculant reduces phenol concentration to 1.0 mg/dm³. As a result, the most effective coagulant is AlOCl in the presence of the flocculant REF FC: The phenol content decreased by 2.6 times, while COD decreased by 3.6 times.

It is known from the literature to use ozone at the initial stage of water treatment at a dose causing flocculating action (pre-ozonation) [3, 9–19]. The use of ozone as a flocculant avoids secondary contamination of wastewater with traditional reagents – precipitators by reducing their dose, or their complete withdrawal. However, methods for treating wastewater of wood processing enterprises of the construction industry using ozone have not been sufficiently studied. Therefore, we investigated the flocculating effect of ozone on plywood-plate mill drains in the presence of low-toxic coagulants in order to precipitate suspended substances, reduce COD and phenol content. Among the large number of foreign and domestic coagulants represented on the Russian market, the most attractive from an economic point of view are the products of domestic companies: VPK-402 and Kaustamin-15, produced by JSC «Bashkir Soda Company». It should be noted that these reagents are produced at the enterprise for a fairly long time and are in stable demand among consumers. Polyelectrolyte of water-soluble cationic type VPK-402, or polyDADMAC, is a high-molecular compound of linear-cyclic structure – polydiallyldimethylammonium chloride [20]. Molecu-

lar weight from 10⁴ to 10⁶, cationic charge is located on secondary chain [21]. VPK-402 is available in various versions: for the treatment of drinking and industrial water. VPK-402 is used as a coagulant and flocculant for intensification of waste water treatment processes in the oil refining, pulp and paper, coal and chemical industries, antibiotic solutions treatment in the medical industry, the consumers of this product are also water utility companies. The water-soluble cationic type polyelectrolyte Kaustamin-15, or poly ECHDMA, is a quaternary polyamine polymer based on epichlorohydrin and dimethylamine [22]. The relative molecular weight is from 10⁴ to 10⁶; resistant to chlorination, compatible when mixed with inorganic coagulants. Unlike other polyelectrolytes, the cationic charge is located on the main molecular chain, which creates a coagulating effect even in highly contaminated waters. It is used to purify drinking water in household water supply systems, to intensify the processes of precipitation of suspended particles, active sludge, during dehydration of municipal and industrial wastewater, to treat the waste water of coal processing plants, paint and oil refineries, to treat industrial wastewater from mineral contaminants, to treat paper and textiles, in processes of rubber coagulation. In this regard, we conducted a study of the efficiency of wastewater treatment of plywood-plate plant by ozonation in the presence of a small number of available low-toxic coagulants VPK-402 and Kaustamin-15, stable at any pH.

METHODS AND MATERIALS

The composition of the initial investigated water is given in the previous article [23], the temperature of the water during experiments is 22–24°C. To clarify the waste water of the plywood-plate plant, we tested aqueous solutions of coagulants: Kaustamin-15 and VPK-402. It was previously determined that the optimum concentration should be 1% by weight. To do this, eight measuring cylinders with a capacity of 0.5 liters were poured into the tested water to the mark. Then, a different amount of milliliters of 1% coagulant solution was added to the cylinders with a dose of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 mg/dm³ (based on the preparation of various doses of the coagulant in the range covering the intended optimal dose). The contents in all cylinders were quickly mixed for 15 to 20 seconds, then slowly for 3 to 5 minutes. Flake drop time was measured, from which the optimal coagulant dose was determined. For the production of ozone, an ozone generator OGVK-02K was used to ensure the introduction of an ozone-oxygen mixture into water and contact with impurities – a reactor with a volume of 1 dm³; device for monitoring ozone concentration in water – photometer “Expert-003.” The treated water containing the optimal dose of coagulant was supplied with ozone using a porous ceramic dispersant. Flocculation was carried out in a

non-precise mode, in an exhaust cabinet. Ozone was administered at various doses (from 1.0 to 7.0 mg/dm³) with vigorous stirring of waste water for 5 minutes. The treated water reactor was then left alone, measuring the flake drop time by which optimal ozone doses were determined. The weight concentration of the suspended substances was measured by gravimetric method (PND F 14.1: 2:4. 254-09). The mass concentration of phenol was measured by a photometric method after steam distillation (PND F 14.1: 2.105-97). COD (chemical oxygen consumption) was determined by the titrimetric method (PND F 14.1: 2: 3.100-97).

RESULTS AND DISCUSSION

We have selected the most effective coagulant and its optimal dose for treatment of waste water of plywood-plate mill. Dependence of flake deposition time on coagulant dose is given in Fig. 1.

From the obtained data (Fig. 1), optimal doses of coagulants were determined: VPK-402 – 40 mg/dm³, Kaustamin-15 – 50 mg/dm³. These coagulants, unlike the coagulants we have previously tested ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 and AlOCl), are in fact more adsorbents, and at the same time adsorption of contaminants dissolved in

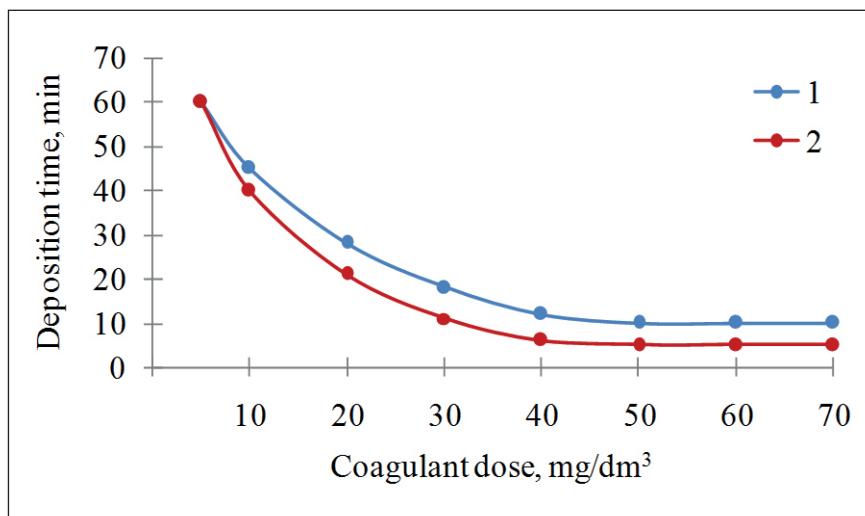


Fig. 1. Dependence of flake deposition time on coagulant dose:
1 – Kaustamin-15; 2 – VPK-402

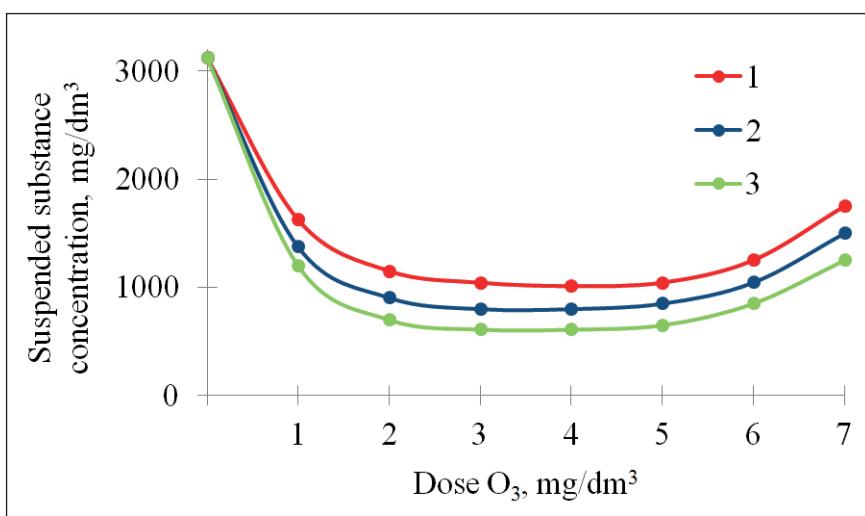


Fig. 2. Effect of ozone dose on the concentration of suspended substances in waste water: 1 – without coagulant; 2 – in the presence of Kaustamin-15 coagulant; 3 – in the presence of VPK-402 coagulant

water occurs on the surface of the suspension particles. Particles of the dispersed phase of the suspension are flocculation centers and simultaneously weighting agents, due to which the coagulation process accelerates and, as a result, the efficiency of treatment of waste water as a whole increases.

At the second stage of studies, water was treated together with ozone and coagulant. The results of tests of the flocculating effect of ozone in the presence of coagulants (Fig. 2) showed a decrease in the concentration of

suspended substances by 3.5 times (Kaustamin-15) and 4 times (VPK-402) at a dose of ozone of 2–5 mg/dm³, which confirms the effect of flocculation. In the absence of a coagulant under the influence of ozone in the same dose, the concentration of suspended substances decreases by 3 times. Ozone as a flocculant disrupts the dynamic equilibrium in which impurities are in water, allows you to convert solutes into colloidal form, promotes the stratification of emulsions that were in a stable state under the influence of surfactants, and the precipitation of

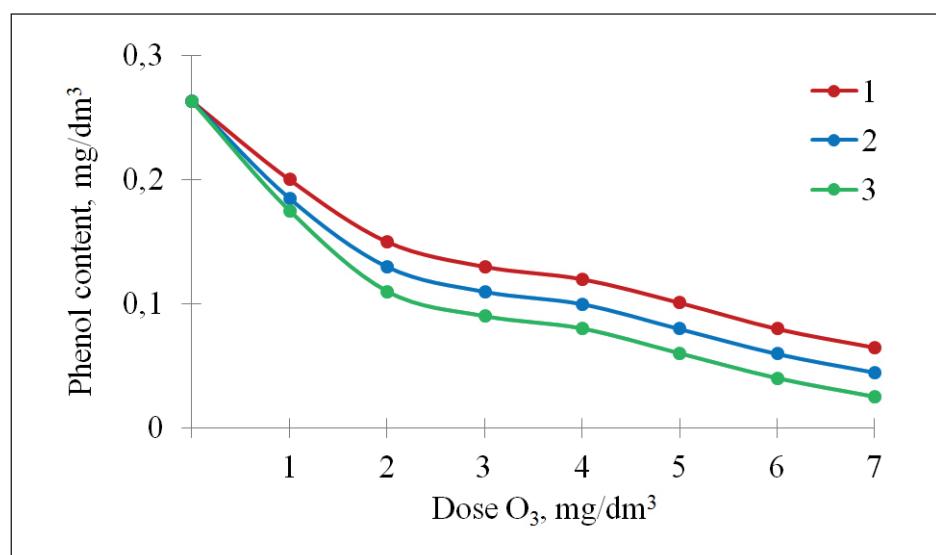


Fig. 3. Effect of ozone dose on phenol content in wastewater:
1 – without coagulant; 2 – in the presence of coagulant VPK-402;
3 – in the presence of Kaustamin-15 coagulant

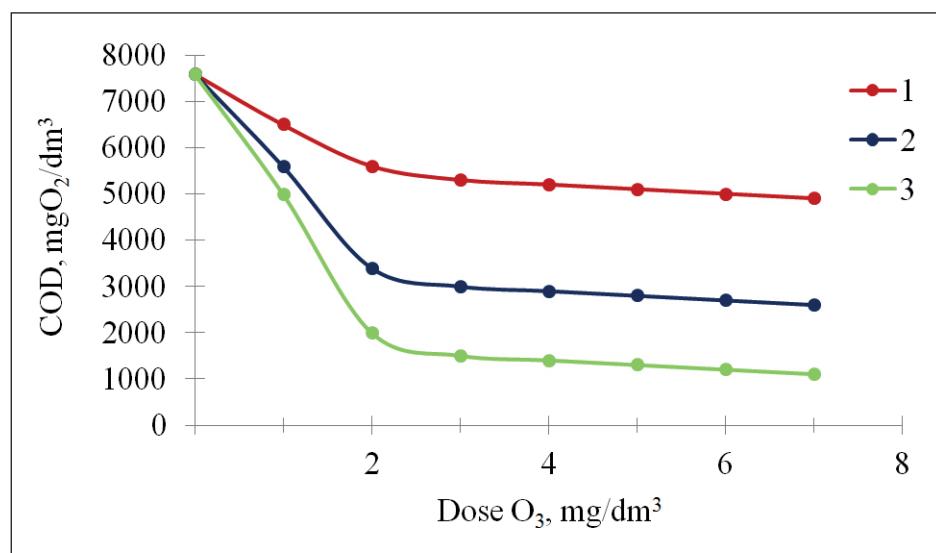


Fig. 4. Effect of ozone dose on change in COD value of wastewater:
1 – without coagulant; 2 – in the presence of coagulant VPK-402;
3 – in the presence of Kaustamin-15 coagulant

Table

**Results of a study on the effects of the nature of coagulant
and the flocculating effect of ozone on the degree of purification**

Sample No.	Flocculant	Coagulant	COD, mgO ₂ /dm ³	Phenols, 10 ⁻¹ ×mg/dm ³	Suspended substances, mg/dm ³
1	—	Kaustamin-15	4400±660	2.50±0.38	1090±59
2	O ₃	Kaustamin-15	3400±510	1.40±0.21	893±48
3	—	VPK-402	2600±390	2.00±0.30	1000±54
4	O ₃	VPK-402	2000±314	0.90±0.14	782±42
5	O ₃	—	5690±894	1.50±0.23	1042±56

impurities. As the ozone dose increases above 5 mg/dm³, the concentration of suspended substances begins to increase. This is probably due to the decomposition of large contamination macromolecules.

In subsequent runs, the effect of ozone dose on phenol content and COD value of wastewater was investigated (Fig. 3, 4). As the ozone dose increases from 1 to 7 mg/dm³, the phenol content decreases unevenly. Presumably, this is due to the adsorption of dissolved substances, including phenol, on precipitating flakes. At a dose of ozone above 5 mg/dm³, a more dramatic decrease in phenol content is observed due to an increase in the adsorption interface. In addition, the process of oxidizing pollutants under the influence of ozone is likely to begin.

From the results obtained (Fig. 4), it can be seen that a sharp decrease in COD is observed at a dose of ozone of 1–2 mg/dm³, and then a gradual decrease in the indicator occurs.

The results of the comparative analysis of the effect of the nature of the coagulant and the flocculating effect of ozone on the degree of wastewater treatment are shown in Table.

The best results are obtained with the combination of ozone and VPK-402, since the most effective treatment

of waste water occurs: COD from 7600 to 2000 mO₂/dm³, phenol content from 0.263 to 0.090 mg/dm³, suspended substances from 3127 to 782.0mg/dm³. There is probably a synergy between the flocculating effects of ozone and VPK-402.

Thus, the flocculating effect of ozone is most effective in the presence of coagulants VPK-402 and Kaustamin-15. The results of the experiments on the pre-ozonation of wastewater showed a high efficiency of this method, which allows reducing COD by 3.8 (VPK-402) and 2.3 times (Kaustamin-15), phenol content by 2.9 (VPK-402) and 1.9 times (Kaustamin-15), suspended content by 4.0 (VPK-402) and 3.5 times (Kaustamin-15).

CONCLUSIONS

These results make it clear that in order to improve the efficiency of wastewater treatment of the plywood-plate mill, it is necessary, after mechanical treatment at the initial stage, to conduct joint coagulation-flocculation with ozone and coagulant VPK-402 in small doses (2–5 and 40 mg/dm³, respectively) for 5 minutes. The investigated purification method allows to reduce flocculant costs, prevent secondary water contamination, increase efficiency of further oxidative purification.

REFERENCES

1. Aminova A.F., Sukhareva I.A., Martyasheva V.A., Baturina K.V. Issledovanie vliyaniya koagulyantov na ochistku stochnyh vod ufimskogo fanerno plitnogo kombinata. Oil and gas business. 2015; 13(3): 18-21.
2. Yagafarova G.G., Aminova A.F., Sukhareva I.A., Khangildina A.R., Khangildin R.I. Development of a method for treating wastewater from difficult-to-oxidize organic compounds. Water: chemistry and ecology. 2016; 1: 24-29.

3. Mazitova A.K., Aminova A.F., Sukhareva I.A. Purification of wastewater of some construction materials production. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: international Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 25–27 September 2019. Vol. 687: ICCATS-2019.066073.
4. Zhukov A.I., Mongait I.D., Rodziller I.D. Process WasteWater Treatment Methods. Moscow: Stroyizdat; 1977.
5. YakovlevS.V., PeskovS.V., KarelinaYa.A., LaskovYu.M., VoronovYu.V. Treatment of industrial wastewater. Moscow: Stroyizdat; 1985.
6. Rubinskaya A.V., Chistova N.G., AlashkevichYu.D. Efficiency of cooling water treatment in fiber boards production.Chemical technology of vegetable raw materials processing. 2008; 3: 354-358.
7. Chistova N.G., AlashkevichYu.D., Rubinskaya A.V. Problems of wastewater treatment in the production of wood fiber boards by wet method.In: Ecology and safety of life: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, 2004, Penza. 2004. P. 145–146.
8. Meshalkin A.V., Dmitrieva T.V., Strizhko L.S. Ecochemical Workshop: textbook. Moscow: Sayns-Press; 2002.
9. Kuzubova L.I., Kobrina V.N. Chemical methods of water treatment (chlorination, ozonation, fluorination). Novosibirsk: Ecology; 1996.
10. Mazitova A.K., Sukhareva I.A., Aminova G.K., Nasirova G.M., Udalova E.A., Sergeev V.A. Study of the possibilities of using ozone as a flocculant. Bashkir Chemical Journal. 2019;26(4): 25-28.
11. Tskhe A.A., Khan V.A., Myshkin V.F., Kolesnikov V.P., Wilson E.V., PochuevYu.N., Lukyanin A.A. Pre-ozonation – as a means of intensification of biological wastewater treatment processes. Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2013;87:276-301.
12. Aminova A.F., Sukhareva I.A., Buylova E.A., Nezdyokin D.V., Fayzullina S.R. Wastewater treatment of wood processing industry using ozone. In: Problems of water, energy supply and ecology in modern construction: materials of the international scientific and technical conference. Baku: Azerbaijan University of Architecture and Construction; 2018.
13. Zhitenev B.N., Taratenkova M.A. Discoloration of surface waters by coagulation with preliminary ozonation for production water supply.Bulletin of Brest State Technical University. 2016;2: 67-70.
14. Ameta R. Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology. Academic Press, 2018.
15. Himadri R.G. Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Biorecalcitrant Organics in Wastewater. Critical reviews in environmental science and technology. 2014;44: 1167-1219.
16. Buyukada M. Modeling of decolorization of synthetic reactive dyestuff solutions with response surface methodology by a rapid and efficient process of ultrasound -assisted ozone oxidation. Desalination and water treatment. 2016;57: 14973-14985.
17. Hrishikesh V.K. Intensification of catalytic wet air oxidation for industrial effluent treatment using ozone and ultrasound as pretreatment.Desalination and water treatment. 2017; 58: 63-71.
18. Barry L.L. Forty Years of Advances in Ozone Technology.Ozone: Science&Engineering. 2018; 40: 3-20.
19. KofmanV.Ya. New oxidizing technologies for water and wastewater treatment. Part 1.Water supply and sanitation. 2013;10: 68-78.
20. Asfandiyarova L.R., Godzhaeva A.R. Synthesis of water-soluble cationic polyelectrolyte based on epichlorohydrin and dimethylamine.The world of petroleum products. Oil Company Bulletin. 2013;12: 15-16.
21. Topchiev D.A., Malkanduev Yu.A. Kationnyepoliektrolity. Cationic polyelectrolytes. Gets, properties, and uses. Moscow: Academbook; 2004.
22. Daminev R.R, Fatkullin R.N. Asfandiyarov R.N., Asfandiyarova L.R., Yunusova G.V. Features of production of salt-free N, N-dimethyl-N, Ndiallylammonium chloride and polymer based on it.Butler messages. 2015; 43: 112-116.
23. Mazitova A.K., Sukhareva I.A., Aminova A.F., Yagafarova G.G., SavichevaYu.N. Ozonation of waste water of woodworking enterprises using a heterogeneous catalyst with nanopowders. Nanotechnology in Construction. 2019;11(4): 394-404. Available from: [doi:10.15828/2075-8545-2019-11-4-394-404](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-394-404).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aliya K. Mazitova, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3853-4617>, e-mail: elenaasf@yandex.ru

Irina A. Sukhareva, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9669-7460>, e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

Georgy M. Sidorov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, e-mail: kaskad@ufanet.ru

Liliya K. Abdrahmanova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, e-mail: liliya.abdrakhmanova.1955@gmail.com

Elena V. Kuznetsova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, e-mail: nsp-rb@mail.ru

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 06.07.2020.

Revised: 30.07.2020.

Accepted: 05.08.2020.



Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий

А.К. Мазитова , И.А. Сухарева* , Г.М. Сидоров, Л.К. Абдрахманова, Е.В. Кузнецова

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

* Контакты: e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

РЕЗЮМЕ: Стоки деревообрабатывающих предприятий строительной отрасли характеризуются высоким содержанием взвешенных и растворённых токсичных веществ, в том числе фенола, и большим значением химического потребления кислорода (ХПК). При этом некоторые предприятия не имеют своих локальных очистных сооружений и нуждаются в разработке собственных комплексных систем очистки. Одним из эффективных методов удаления загрязнений является озонирование сточных вод, применяющееся в трёх вариантах: флокуляция небольшими дозами озона (предозонирование) на начальном этапе для удаления взвешенных веществ, окислительное озонирование и обеззараживание. Однако методы очистки сточных вод деревообрабатывающих комбинатов с применением озона изучены недостаточно. Поэтому нами исследовано флокулирующее действие озона в процессе очистки стоков фанерно-плитного комбината, испытано влияние дозы озона при флокуляции в присутствии небольшого количества коагулянтов ВПК-402 и Каустамин-15 на концентрацию взвешенных веществ, фенола и значение ХПК. ВПК-402 и Каустамин-15 – реагенты местного производства, малотоксичны и разрешены к использованию в очистке даже питьевой воды. Результаты проведённых экспериментов по предозонированию сточных вод показали высокую эффективность данного метода, позволяющего снизить ХПК в 3,8 (ВПК-402) и 2,3 раза (Каустамин-15), содержание фенола в 2,9 (ВПК-402) и 1,9 раз (Каустамин-15), содержание взвешенных веществ в 4,0 (ВПК-402) и 3,5 раз (Каустамин-15). Использование предозонирования позволяет полностью отказаться от флокулянтов в физико-химической стадии очистки сточной воды. Коагуляцию-флокуляцию можно успешно проводить с помощью озона и коагулянта в небольших дозах 2–5 и 40 мг/дм³ (ВПК-402) или 50 мг/дм³ (Каустамин-15) соответственно в течение 5 минут. Улучшились физико-химические показатели качества воды по сравнению с очисткой только коагулянтом: ХПК снизилось на 23%, содержание фенола на 55%, взвешенных веществ на 22%. Применение озона в качестве флокулянта при осветлении сточных вод снижает расходы на реагенты, предупреждает вторичное загрязнение воды, повышает эффективность дальнейшей окислительной очистки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коагулянт, флокулянт, озонирование, сточные воды деревообрабатывающих предприятий.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Абдрахманова Л.К., Кузнецова Е.В. Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 4. – С. 204–210. – DOI:10.15828/2075-8545-2020-12-4-204-210.

ВВЕДЕНИЕ

Производство древесностружечных материалов сопровождается загрязнением сточных вод большим количеством взвешенных и растворенных токсичных веществ, в том числе фенола, приводящим к значительному повышению показателя химического потребления кислорода (ХПК), цветности и мутности. При этом некоторые предприятия не имеют своих локальных очистных сооружений и нуждаются в разработке собственных комплексных систем

очистки. На начальном этапе технологической схемы очистки таких стоков необходимым процессом является осаждение растворенных и взвешенных веществ. Ранее нами исследован данный метод очистки с применением различных коагулянтов и флокулянтов [1–3]. Эффективность и экономичность процессов коагуляционной очистки сточных вод определяются устойчивостью дисперсной системы, которая зависит от ряда факторов: степени дисперсности, характера поверхности частиц, величины электрокинетического потенциала, химической природы при-

© Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Абдрахманова Л.К., Кузнецова Е.В., 2020

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

месей (наличия электролитов, высокомолекулярных веществ), концентрации примесей и т.д. На практике водоочистки используют разные коагулянты [4–7]. Наиболее широкое распространение получили соединения алюминия, железа, магния и кальция. Особенностью коагуляционной очистки сточных вод является необходимость применения коагулянтов, не вызывающих вторичного загрязнения воды. Нами подобраны наиболее эффективные коагулянты и флокулянты и их оптимальные дозы для очистки сточных вод фанерно-плитных комбинатов. В качестве коагулянтов испытаны растворы сульфата алюминия, хлорида железа (III), сульфата железа (II) и оксихлорида алюминия (OXA) и определены их оптимальные дозы: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 268 мг/дм³, FeCl_3 – 80 мг/дм³, FeSO_4 – 180 мг/дм³, OXA – 165 мг/дм³. Для максимального извлечения загрязнений процесс коагуляции осуществляли в диапазоне оптимальных величин pH, которые непосредственно связаны с pH существования соответствующих коагулянтам гидроксидов. Наибольший эффект очистки сточных вод при использовании в качестве коагулянта на основе солей алюминия достигается в интервале значений pH среды от 6,5 до 8; при использовании солей железа – в интервале значений pH от 4,1 до 14,0 [8]. В качестве флокулянтов нами испытаны 0,1% раствор поликариламида (ПАА), 0,5% раствор активированной кремниевой кислоты (АКК), и 0,1% раствор катионного поликариламида марки REFFC. Оптимальные дозы флокулянтов составляют: ПАА – 45 мг/дм³, АКК – 53 мг/дм³, REFFC – 40 мг/дм³. Результаты сравнительного анализа влияния природы коагулянта и флокулянта на степень очистки сточных вод фанерно-плитного комбината показали лучшие результаты при сочетании ПАА и OXA (ХПК снижается до 2100 мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$), REFFC и OXA (ХПК снижается до 2110 мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$); при сочетании ПАА и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, REFFC и OXA содержание формальдегида в воде снижается до 0,05 мг/дм³; использование коагулянта OXA в сочетании с флокулянтом REFFC позволяет снизить концентрацию фенола до 1,0 мг/дм³. В итоге наиболее эффективным коагулянтом является OXA в присутствии флокулянта REFFC: содержание фенола понизилось в 2,6 раз, ХПК при этом уменьшается в 3,6 раза.

Из литературы известно использование озона на начальной стадии обработки воды в дозе, вызывающей флокулирующее действие (предозонирование) [3, 9–19]. Применение озона в качестве флокулянта позволяет избежать вторичного загрязнения сточных вод традиционными реагентами – осадителями за счет снижения их дозы либо полной их отмены. Однако методы очистки сточных вод деревообрабатывающих предприятий строительной отрасли с применением озона изучены недоста-

точно. Поэтому нами исследовано флокулирующее действие озона на стоки фанерно-плитного комбината в присутствии малотоксичных коагулянтов с целью осаждения взвешенных веществ, снижения показателя ХПК и содержания фенола. Среди большого количества представленных на рынке РФ зарубежных и отечественных коагулянтов наиболее привлекательны с экономической точки зрения продукты отечественных компаний: ВПК-402 и Каустамин-15, выпускаемые АО «Башкирская содовая компания». Следует отметить, что указанные реагенты выпускаются на предприятии довольно длительное время и пользуются стабильным спросом у потребителей. Полиэлектролит водорастворимый катионного типа ВПК-402, или полиДАДМАХ, представляет собой высокомолекулярное соединение линейно-циклической структуры – полидиаллилдиметиламмоний хлорид [20]. Молекулярная масса от 10^4 до 10^6 , катионный заряд расположен на вторичной цепи [21]. ВПК-402 выпускается в различных модификациях: для очистки питьевой и промышленной воды. ВПК-402 используется в качестве коагулянта и флокулянта для интенсификации процессов очистки сточных вод нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, угольной и химической промышленности, очистки растворов антибиотиков в медицинской промышленности, потребителями данного продукта являются также предприятия водоканалов. Полиэлектролит водорастворимый катионного типа Каустамин-15, или полиЭХГДМА, является четвертичным полиамином – полимером на основе эпихлоргидрина и диметиламина [22]. Относительная молекулярная масса составляет от 10^4 до 10^6 ; устойчив к хлорированию, совместим при смешивании с неорганическими коагулянтами. В отличие от других полиэлектролитов, катионный заряд располагается на главной молекулярной цепи, что создает коагулирующее действие даже в сильно загрязненных водах. Он применяется для очистки питьевой воды в системах хозяйствственно-бытового водоснабжения, для интенсификации процессов осаждения взвешенных частиц, активного ила, при обезвоживании осадков городских и производственных сточных вод, для очистки сточных вод углеобогатительных фабрик, лакокрасочных и нефтеперерабатывающих заводов, для очистки промышленных сточных вод от минеральных загрязнений, обработки бумаги и текстиля, в процессах коагуляции каучуков. В связи с этим нами проведено исследование эффективности очистки сточных вод фанерно-плитного комбината озонированием в присутствии небольшого количества доступных малотоксичных коагулянтов ВПК-402 и Каустамин-15, стабильных при любых рН.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Состав исходной исследуемой воды приведен в предыдущей статье [23], температура воды при проведении экспериментов 22–24°C. Для осветления сточной воды фанерно-плитного комбината нами испытаны водные растворы коагулянтов: Каустамин-15 и ВПК-402. Предварительно было установлено, что оптимальная концентрация должна быть равна 1% масс. Для этого в восемь мерных цилиндров емкостью 0,5 л наливали исследуемую воду до метки. Затем в цилиндры добавляли различное количество миллилитров 1% раствора коагулянта с дозой 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 мг/дм³ (из расчета получения различных доз коагулянта в диапазоне, охватывающем предполагаемую оптимальную дозу). Содержимое во всех цилиндрах быстро перемешивали в течение 15–20 секунд, затем медленно в течение 3–5 минут. Измеряли время выпадения хлопьев, по которому определена оптимальная доза коагулянта. Для производства озона использовали озоногенератор ОГВК-02К, для обеспечения ввода озонокислородной смеси в воду и контакта с примесями – реактор объемом 1 дм³; прибор контроля концентрации озона в воде – фотометр «Эксперт-003». В обрабатываемую воду, содержащую оптимальную дозу коагулянта, подавали озон с помощью пористого керамического диспергатора. Флокуляцию проводили в непроточном режиме, в вытяжном шкафу. Озон вводили в различных дозах (от 1,0 до 7,0 мг/дм³) при интенсивном перемешивании сточной воды в течение 5 минут. Затем реактор с обработанной водой оставляли в покое, измеряя время выпадения хлопьев, по которому определены оптимальные дозы озона.

Массовую концентрацию взвешенных веществ измеряли гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.254-09). Массовую концентрацию фенола измеряли фотометрическим методом после отгонки с водяным паром (ПНД Ф 14.1:2.105-97). Показатель ХПК (химическое потребление кислорода) определяли титрометрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:3.100-97).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами подобран наиболее эффективный коагулянт и его оптимальная доза для очистки сточных вод фанерно-плитного комбината. Зависимость времени осаждения хлопьев от дозы коагулянтов приведена на рис. 1.

Из полученных данных (рис. 1) определены оптимальные дозы коагулянтов: ВПК-402 – 40 мг/дм³, Каустамин-15 – 50 мг/дм³. Эти коагулянты, в отличие от испытанных нами ранее ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 и ОХА), фактически являются в большей степени адсорбентами, и при этом на поверхности частиц суспензии происходит адсорбция растворенных в воде загрязняющих веществ. Частицы дисперсной фазы суспензии являются центрами хлопьеобразования и одновременно утяжелителями, благодаря чему происходит ускорение процесса коагуляции и, как следствие, в целом повышается эффективность очистки сточной воды.

На втором этапе исследований проводили совместную обработку воды озоном и коагулянтом. Результаты испытаний флокулирующего действия озона в присутствии коагулянтов (рис. 2) показали уменьшение концентрации взвешенных веществ в 3,5 раза (Каустамин-15) и 4 раза (ВПК-402) при дозе озона

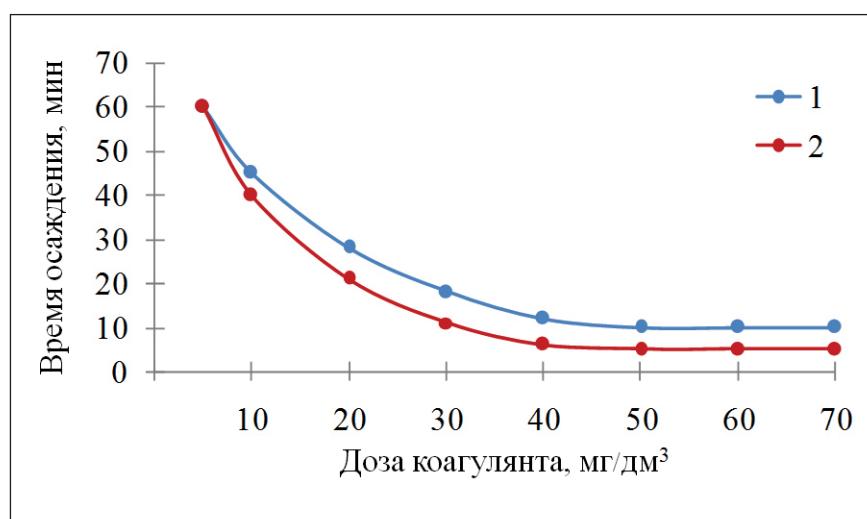


Рис. 1. Зависимость времени осаждения хлопьев от дозы коагулянтов:
1 – Каустамин-15; 2 – ВПК-402

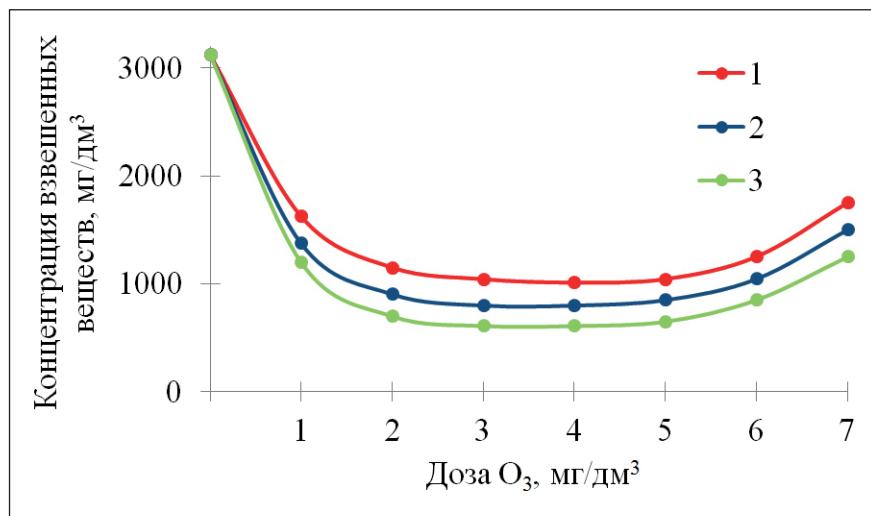


Рис. 2. Влияние дозы озона на концентрацию взвешенных веществ в сточной воде: 1 – без коагулянта; 2 – в присутствии коагулянта Каустамин-15; 3 – в присутствии коагулянта ВПК-402

2–5 мг/дм³, что подтверждает эффект флокуляции. В отсутствии коагулянта под действием озона в той же дозе концентрация взвешенных веществ уменьшается в 3 раза. Озон как флокулянт нарушает динамическое равновесие, в котором находятся примеси в воде, позволяет перевести растворенные вещества в коллоидную форму, способствует расслоению эмульсий, находившихся в стабильном состоянии под действием поверхностно-активных веществ, и выпадению примесей в осадок. При увеличении дозы озона выше

5 мг/дм³ концентрация взвешенных веществ начинает возрастать. Вероятно, это связано с разложением крупных макромолекул загрязнений.

В последующих сериях опытов было исследовано влияние дозы озона на содержание фенола и значение ХПК сточной воды (рис. 3, 4). С увеличением дозы озона от 1 до 7 мг/дм³ содержание фенола неравномерно уменьшается. Предположительно, это связано с адсорбцией растворенных веществ, в том числе фенола, на осаждающихся хлопьях. При дозе

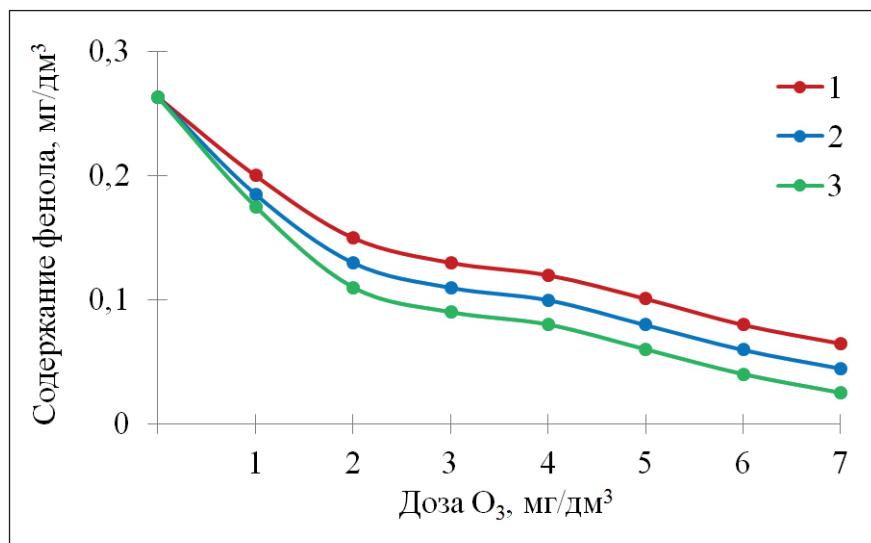


Рис. 3. Влияние дозы озона на содержание фенола в сточной воде:
1 – без коагулянта; 2 – в присутствии коагулянта ВПК-402;
3 – в присутствии коагулянта Каустамин-15

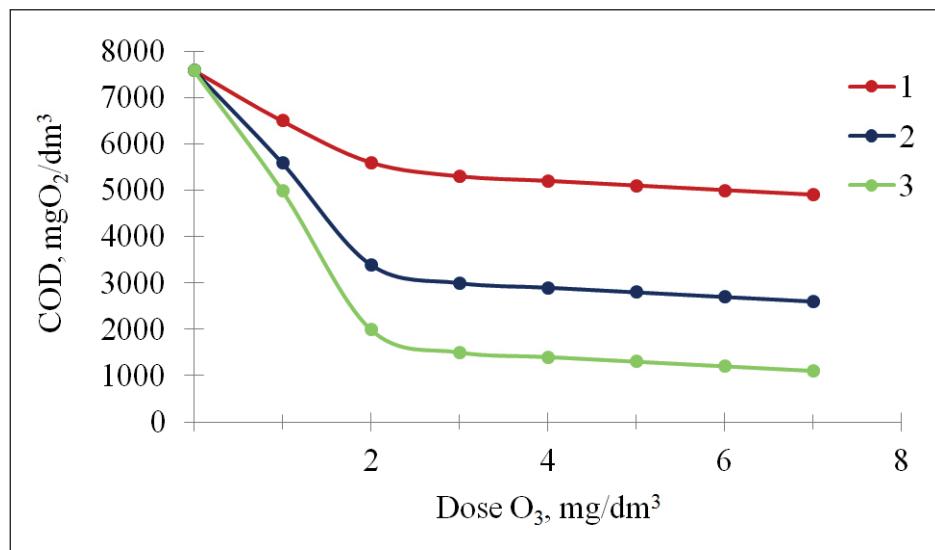


Рис. 4. Влияние дозы озона на изменение значения ХПК сточной воды:

1 – без коагулянта; 2 – в присутствии коагулянта ВПК-402;
3 – в присутствии коагулянта Каустамин-15

Таблица

Результаты исследования влияния природы коагулянта и флокулирующего действия озона на степень очистки

№ пробы	Флокулянт	Коагулянт	ХПК, мгO ₂ /дм ³	Фенолы, 10 ⁻¹ ×мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³
1	–	Каустамин-15	4400±660	2,50±0,38	1090±59
2	O ₃	Каустамин-15	3400±510	1,40±0,21	893±48
3	–	ВПК-402	2600±390	2,00±0,30	1000±54
4	O ₃	ВПК-402	2000±314	0,90±0,14	782±42
5	O ₃	–	5690±894	1,50±0,23	1042±56

озона выше 5 мг/дм³ наблюдается более резкое снижение содержания фенола ввиду увеличения адсорбционной поверхности раздела фаз. Кроме того, вероятно, начинается процесс окисления загрязняющих веществ под действием озона.

Из полученных результатов (рис. 4) видно, что резкое снижение значения ХПК наблюдается при дозе озона 1–2 мг/дм³, а затем происходит постепенное уменьшение показателя.

Результаты сравнительного анализа влияния природы коагулянта и флокулирующего действия озона на степень очистки сточных вод приведены в табл.

Лучшие результаты получены при сочетании озона и ВПК-402, так как происходит наиболее эффективная очистка сточной воды: ХПК от 7600

до 2000 мг O₂/дм³, содержание фенола от 0,263 до 0,090 мг/дм³, взвешенных веществ от 3127 до 782,0 мг/дм³. Вероятно, в данном случае происходит синергизм флокулирующего действия озона и ВПК-402.

Таким образом, флокулирующее действие озона наиболее эффективно в присутствии коагулянтов ВПК-402 и Каустамин-15. Результаты проведенных экспериментов по предозонированию сточных вод показали высокую эффективность данного метода, позволяющего снизить ХПК в 3,8 (ВПК-402) и 2,3 раза (Каустамин-15), содержание фенола в 2,9 (ВПК-402) и 1,9 раз (Каустамин-15), содержание взвешенных веществ в 4,0 (ВПК-402) и 3,5 раз (Каустамин-15).

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют уверенно утверждать, что для повышения эффективности очистки сточных вод фанерно-плитного комбината необходимо после механической очистки на начальном этапе провести совместную коагуляцию-

флокуляцию с помощью озона и коагулянта ВПК-402 в небольших дозах (2–5 и 40 мг/дм³ соответственно) в течение 5 минут. Исследованный способ очистки позволяет снизить расходы на флокулянты, предупредить вторичное загрязнение воды, повысить эффективность дальнейшей окислительной очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Мартяшева В.А., Батурина К.В. Исследование влияния коагулянтов на очистку сточных вод уфимского фанерно-плитного комбината // Нефтегазовое дело. – Уфа: УГНТУ, 2015. – Т. 13, № 3. – С. 18–21.
2. Ягафарова Г.Г., Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Хангильдина А.Р., Хангильдин Р.И. Разработка метода очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений // Вода: химия и экология. – М.: ООО «ИД «Вода: химия и экология», 2016. – № 1. – С. 24–29.
3. Mazitova A.K., Aminova A.F., Sukhareva I.A. Purification of wastewater of some construction materials production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: international Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 25-27nd of September 2019. – 2019. – Vol. 687: ICCATS-2019.–066073.
4. Жуков А.И. Методы очистки производственных сточных вод / А.И. Жуков, И.Д. Монгайт, И.Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
5. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод / С.В. Песков, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.
6. Рубинская А.В. Эффективность очистки оборотной воды при производстве ДВП / А.В. Рубинская, Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич // Химическая технология переработки растительного сырья. – 2008. – № 3. – С. 354–358.
7. Чистова Н.Г. Проблемы очистки сточных вод в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом / Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич, А.В. Рубинская // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. материалов IV межд. науч.-практ. конф., 2004. – Пенза: РИО ПГСХА.– 2004. – С. 145–146.
8. Мешалкин А.В., Дмитриева Т.В., Стрижко Л.С. Экохимический практикум: учеб. пособие. – М.: Сайнс-Пресс. – 2002. – 240 с.
9. Кузубова Л.И., Кобринова В.Н. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фотопирорование): Аналит. обзор / СО РАН, ГННТБ, НИОХ. – Новосибирск, 1996. – Сер. «Экология», вып. 42. – 132 с.
10. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Аминова Г.К., Насырова Г.М., Удалова Е.А., Сергеев В.А. Исследование возможностей использования озона в качестве флокулянта // Башкирский химический журнал. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 25–28.
11. Цхе А.А., Хан В.А., Мышкин В.Ф., Колесников В.П., Вильсон Е.В., Почуев Ю.Н., Луканин А.А. Предозонирование – как средство интенсификации процессов биологической очистки сточных вод // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 87(03). – С. 276–301.
12. Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Буйлова Е.А., Недопёкин Д.В., Файзулина С.Р. Очистка сточных вод деревообрабатывающей промышленности с применением озона // Проблемы водо-, энергоснабжения и экологии в современном строительстве: материалы междунар. научно-техн. конференции. – Баку: ААСУ, 2018. – С. 166–170.
13. Житенёв Б.Н., Таратенкова М.А. Обесцвечивание поверхностных вод коагулированием с предварительным озонированием для производственного водоснабжения // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2016. – № 2. – С. 67–70.
14. Ameta R. Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology / R. Ameta // Academic Press. – 2018. – P. 428.
15. Himadri R.G. Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Biorecalcitrant Organics in Wastewater / Roy Ghatak Himadri // Critical reviews in environmental science and technology. – 2014. – Vol. 44. – P. 1167–1219.

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

16. Buyukada M. Modeling of decolorization of synthetic reactive dyestuff solutions with response surface methodology by a rapid and efficient process of ultrasound – assisted ozone oxidation / Musa Buyukada // Desalination and water treatment. – 2016. – Vol. 57. – Pp. 14973–14985.
17. Hrishikesh V.K. Intensification of catalytic wet air oxidation for industrial effluent treatment using ozone and ultrasound as pretreatment / V. Khare Hrishikesh, R. Gogate Parag // Desalination and water treatment. – 2017. – Vol. 58. – Pp. 63–71.
18. Barry L.L. Forty Years of Advances in Ozone Technology. A Review of Ozone: Science & Engineering / L. Loeb Barry // Ozone: Science & Engineering. – 2018. – Vol. 40. – Pp. 3–20.
19. Кофман В.Я. Новые окислительные технологии очистки воды и сточных вод. Часть 1 // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 10. – С. 68–78.
20. Асфандиярова Л.Р., Годжаева А.Р. Синтез водорастворимого катионного полиэлектролита на основе эпихлоргидрина и диметиламина // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – № 12. – С.15–16.
21. Топчиев Д.А., Малкандуев Ю.А. Катионные полиэлектролиты. Получение, свойства и применение. – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2004. – 232 с.
22. Даминев Р.Р., Фаткуллин Р.Н., Асфандияров Р.Н., Асфандиярова Л.Р., Юнусова Г.В. Особенности получения бессолевого N,N-диметил-N,Nдиаллиламмонийхлорида и полимера на его основе// Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 43. – С. 112–116.
23. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Аминова А. Ф., Ягафарова Г.Г., Савичева Ю.Н. Озонирование сточных вод предприятий деревообрабатывающей промышленности с применением гетерогенного катализатора с наносвойствами // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – № 4.– С. 394–404. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-4-394-404](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-4-394-404).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазитова Алия Карамовна, доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладные и естественно-научные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3853-4617>, e-mail: elenaasf@yandex.ru

Сухарева Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладные и естественно-научные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9669-7460>, e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

Сидоров Георгий Маркелович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: kaskad@ufanet.ru

Абдрахманова Лилия Карамовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика и конструирование машин», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: liliya.abdrakhmanova.1955@gmail.com

Кузнецова Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на предприятиях нефтяной и газовой промышленности», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: nsp-rb@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 06.07.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 30.07.2020.

Статья принята к публикации: 05.08.2020.



WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IS ONE OF THE LEADING CHINESE UNIVERSITIES

About Wuhan University of Technology

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

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

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

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

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

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

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

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





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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Contact information

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

Postal Code: 430070

Supporting Institution: Wuhan University of Technology

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

E-mail: sklwut@whut.edu.cn

Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

R



УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

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

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

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

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

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

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

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

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

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

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

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

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

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

цированных кадров и инновационного центра знаний материаловедения и инженерного дела.

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

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

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

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

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

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





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

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

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

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

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

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

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

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

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

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

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

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

Контактная
информация

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

R

Supporting Institution: Wuhan University of Technology

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

E-mail: sklwut@whut.edu.cn

Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua



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

Part 2

V.V. Belozerov¹ , VI.V. Belozerov¹ , A.I. Golubov² , I.E. Kalchenko^{2*} , Yu.V. Prus³

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

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

³ Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia

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

ABSTRACT: **Introduction.** To determine the effectiveness of fire-retardant coatings (FRC), a system of methods for fire and high-temperature testing of fire-retardant materials and structures made of them is being used. However, there are no methods and means that could provide current effectiveness of fire protection, and existing methods cannot be applied to determine fire resistance of building structures with fire protection, they set only a group of the effectiveness of the flame retardants. Therefore, to assess the quality and durability of the FRC, in case they provide the parameters of thermal stability of the protected materials, structures and elements of the engineering systems of the objects, it was necessary to develop a quick method and a portable diagnostic complex of fire-retardant coatings (PDC FRC). **Methods, models and tools.** Based on a system analysis of the existing fire protection technologies for building materials from wood, metals, rubber and polymers, a rapid analysis methodology and PDC for thermo-electro-acoustic (TEA) sensing of FRCs using thermo-acoustic methods have been developed. That made it possible to determine thermal conductivity, the ultrasound speed and its absorption coefficient in the FRC, as well as to conduct a comparative analysis of the «FRC image» obtained on a BETA-analyzer with measured characteristics, based on which to calculate the time of its operability. **Results and discussion.** The PDC of FRC consists of a case with a laptop, with the immitance meter and a two-channel oscillographic attachment connected to the laptop, to the inputs of which a TEA-zonding unit is pressed, pressed to the FRC of the tested object (structure, material, cable), by thermal, electrical and acoustic signals from which the laptop software identifies the properties and stages of operational stability of the FRC. The PDC of the FRC and the proposed approach allowed us to synthesize a model of the Internet system of TEA - diagnosis of FRC and of the monitoring of the operational stability of the protected materials. The novelty of the study is protected by patents of the Russian Federation. **Conclusion.** The proposed approach and the PDC of the FRC made it possible to implement a quick analysis of the FRC at the facility and to synthesize a model of the Internet system of TEA-diagnosis of FRC, which can become the basis of the national supervision system for the given area.

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

FOR CITATION: Belozerov V.V., Belozerov VI.V., 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. Nanotechnologies in Construction. 2020;12 (4):216–222. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-4-216-222.

INTRODUCTION

To determine the effectiveness of fire-retardant coatings (FRC), a system of methods for fire and high-temperature testing of fire-retardant materials and structures made of them is being used [1, 2]. However, there

are no methods and means that could provide current effectiveness of fire protection, and the existing assessment methodology divides the FRC into seven groups, depending on the time of heating up to 500°C of an I-section steel column of profile No. 20 or profile No. 20B1 with a height of 1700 mm, coated with FRC [3]:

- 1st group – at least 150 minutes;
- 2nd group – at least 120 minutes;
- 3rd group – at least 90 minutes;
- 4th group – at least 60 minutes;
- 5th group – at least 45 minutes;
- 6th group – at least 30 minutes;
- 7th group – at least 15 minutes.

Moreover, the methodology cannot be used to determine fire resistance limit of building structures with fire protection, it sets only the efficiency group of the flame retardants themselves. The same approach is applied for FRC used to protect wood, cables, etc. [2–5].

Thus, the latent form of assessing the effectiveness of the FRC is again evident: not by the thermal stability of the material being protected, but by the indirect characteristics of the FRC itself [6].

That is why, in order to assess the quality and durability of the applied FRC, in case they provide parameters of resistance to the impact of the protected materials, structures and elements of engineering systems of objects (buildings, structures), it was necessary to develop a quickmethod and portable diagnostic complex of fire retardant coatings (PDC FRC).

METHODS, MODELS AND TOOLS

Based on a system analysis of the existing fire protection technologies for building materials from wood, metals, rubber and polymers, a rapid analysis methodology and a portable diagnostic complex (PDC) for thermo-electro-acoustic (TEA) sounding of FRC using thermo-acoustic methods were developed, which allowed determine the thermal conductivity, ultrasound speed and its absorption coefficient in the FRC at the facility, and also conduct a comparative analysis of the «FRC-image», including its operational aging, obtained on a BETA-analyzer, with the measured characteristics at the facility during the test, by which to calculate its working time [6–10].

The developed method of thermo-electro-acoustic (TEA) sounding uses not only the method of acoustic emission (AE), but also the method of molecular acoustic analysis (MA), which allows you to determine the speed – with (T) and frequency – ω (T) of ultrasound in the FRC, then calculate the absorption coefficient α_c and check the value of the E – Young's modulus obtained on the BETA-analyzer [9–11]:

$$E = \rho \cdot c^2, \text{ where } c(T) = (2l_b + d/2)/(\tau_r - \tau_n), \quad (1)$$

$$\alpha_c = \frac{\omega^2}{2\rho \cdot c^3} \left[\frac{4}{3} \eta + \varepsilon + \lambda \cdot \left(\frac{1}{C_v} - \frac{1}{C_p} \right) \right], \quad (2)$$

where l_b is the length of the acoustic waveguide, d is the diameter of the sample, τ_r is the time the first sensor excites the pulse from the reference generator, τ_n is the time the second sensor receives the pulse from the reference generator, ρ is the density of the sample, c is the speed of sound in the sample, ω is the circular frequency sound wave, η is the shear viscosity coefficient, ε is the bulk viscosity coefficient, λ is the heat conductivity coefficient, C_v is the heat capacity at a constant volume, C_p is the heat capacity at a constant pressure.

TEA sounding is carried out using a special board (Fig. 1), which contains three metal probes mounted on the plate from fluoroplast in a straight line at fixed distances, each of which has an acoustic sensor. The extreme sensors are connected to the individual inputs of the oscillographic set-top box through preamplifiers, registering acoustic signals, and the central one – to the output of its reference generator through a controlled electronic key, operating as an emitter of ultrasonic signals [7, 9].

On each of the three probes, one thermal sensor is installed, connected to the input of the emittance meter through a managed switch, measuring the temperature (by changing their resistances). Each of the three probes represents a pointed thermo-electro-acoustic molybdenum waveguide, connected to the input of the emittance meter via a controlled switch, for measuring the electrical and thermal parameters of the FRC between the probes, and to an oscilloscopic prefix for measuring acoustic signals [9].

When calibrating according to known parameters of the body wall of the PDCFRC of an aluminum alloy: density (ρ), heat capacity (C_p) and bulk modulus ($K = 1/\beta$), as well as calibrated distances between probes (l_{II} and l_K), special software (Fig. 2) controls the PDCFRC and determines the following parameters [9, 12]:

- mechanical – Young's modulus ($E = \rho C^2$), shear modulus ($G = 3E/(9-E/K)$) and Poisson's ratio ($\nu = E/2G-1$);
- thermal – surface temperatures (T_c and T_k), thermal conductivity (λ) and thermal diffusivity ($a = \lambda / (\rho \cdot C_p)$);
- electrical – resistance (R), conductivity (G), impedance (Z), loss tangent ($\tan \delta$), dielectric (ϵ) and magnetic permeability (μ), solving the characteristic (surface according to Leontovich) impedance equation ($Z = (\mu/\epsilon)^{1/2}$);
- acoustical – the intensities of the flow (quantity per unit time) of acoustic emission (AE) events dN_a/dt , their total amount of N_a , amplitude A and spectral composition of radiation $U(f)$, as well as sound speed (C).

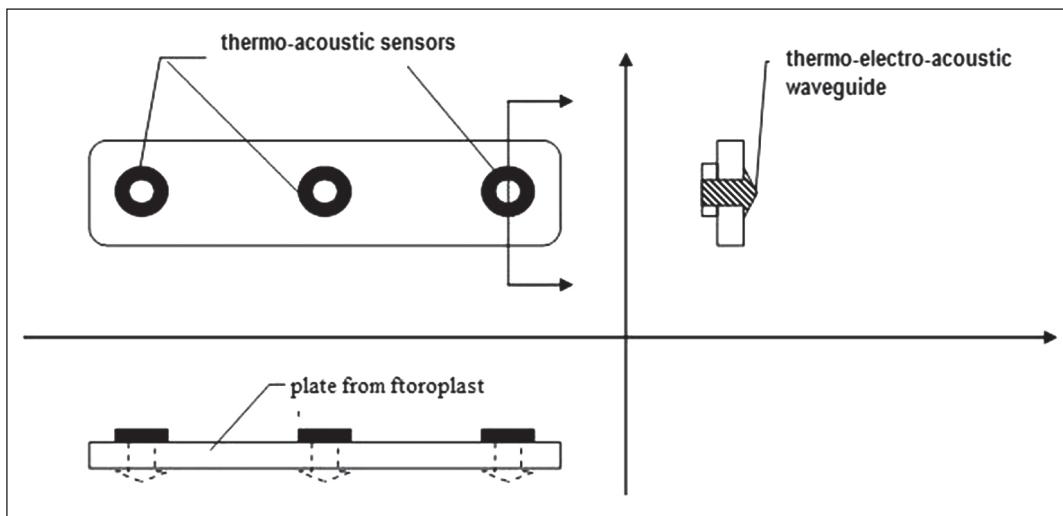


Fig. 1. TEA soundingboard

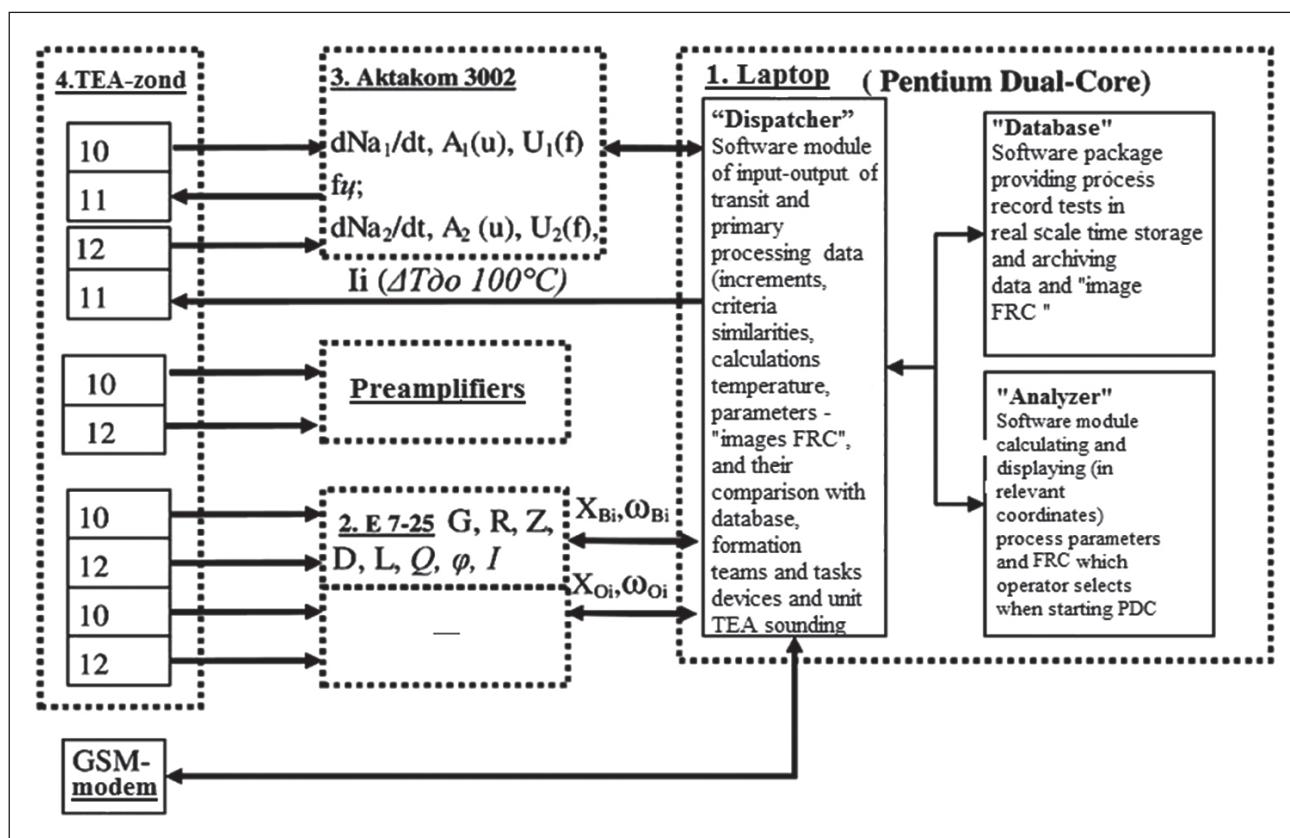


Fig. 2. Block diagram of special software

RESULTS AND DISCUSSION

During the calibration, all measuring channels are tuned to the parameters of the «case-shunt» made of aluminum alloy (Fig. 3), by calculating the corresponding

errors of the electric (Δe), temperature (Δt) and acoustic (Δa) measuring channels and their correction.

PDCFRC consists of a housing (1) with a laptop (2), with an imittance meter (3) and a two-channel oscillographic set-top box (4) connected to the laptop, the inputs of which are connected with the appropri-

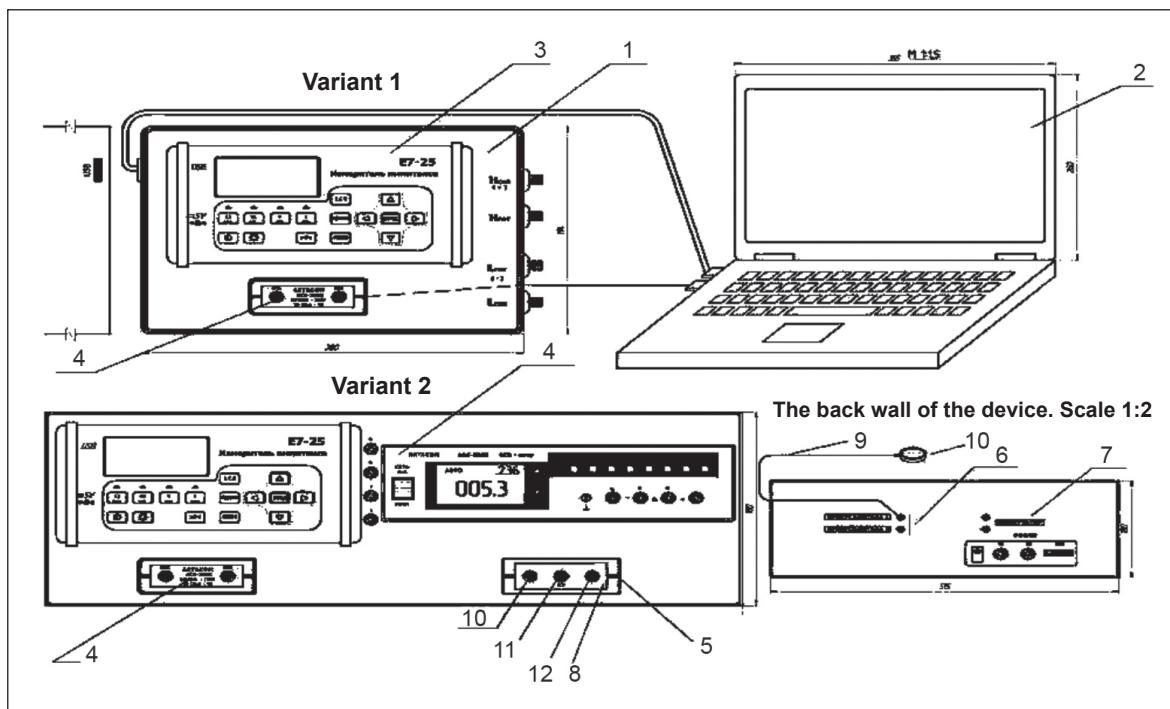


Fig. 3. General view of the PDCFRC with options for execution

ate cables to the thermo-electro-acoustic (TEA) sensing unit (5), pressed to the FRC of the tested object (structure, material, cable), by thermal, electrical and acoustic signals from which, the special software of the laptop identifies the properties and stages of operational stability of the FRC. In this case, the oscillographic set-top box is connected and powered by the USB port

of the laptop (Fig. 4), and the imittance meter is powered by the built-in battery and connected to another USB port. The TEA sensing unit is part of a portable complex, consists of two preamplifiers (6), a switch (7), a multi-core connecting cable (9) and a TEA probe board (8), on which a reference probe (10), a central measuring probe (11) are installed) and the extreme

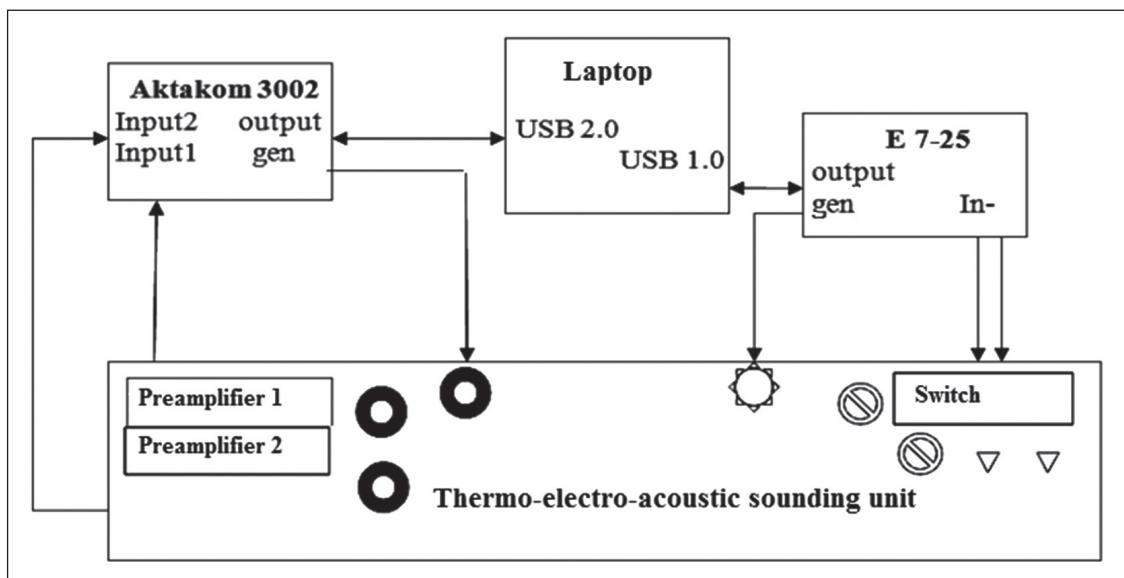


Fig. 4. Block diagram of a portable diagnostic complex

measuring probe (12). The reference probe contains an acoustic sensor emitting an ultrasonic pulse, a thermal sensor-heater of the molybdenum probe to a temperature of 100°C. The central and extreme measuring probes are the same and are pointed metal rods that act as thermo-electro-acoustic waveguide probes on which thermal and acoustic sensors are mounted. To measure the temperature and resistance of the FRC between the probes, an imittance meter with a switch is used, and sensors that record acoustic signals are connected to an oscilloscopic prefix [9, 12].

A laptop can be any two-processor computer with at least 4 GB of RAM and Windows 7 OS, the software (software) of which, in addition to the software module packages (SMP) of the imittance meter and two-channel oscilloscopic set-top box, includes special software (SSW), which synchronizes the operation of all these components of the PC and, processing the obtained TEA data, calculates the current parameters of the FRC, which identifies the stages of its operational stability and determines the effectiveness of protection [9, 12].

E7-25 with autonomous power supply was used as an emittance meter, and the oscilloscopic set-top box should be two-channel (for example, Aktakom 3002) with the function of a spectrum analyzer and powered by a laptop's USB connector (Fig. 4).

PDCFRC is activated by turning on the laptop and the emittance meter with the choice of the «calibration» procedure from the «menu», after which the TEA-sensing unit is removed from the PC case and pressed to the object under test with the FRC (structure, cable, material), after which the mode starts «Diagnosis of FRC» using the same special software (Fig. 2). Moreover, to identify the state of the FRC, i.e. stages of its operational aging, in the PC database there should be an «FRC image», which is its life cycle vector function in the temperature range from minus 55°C to plus 65°C, obtained on a BETA analyzer, by which the stability stage is determined and calculates the update time of the FRC [12, 13].

PDCFRC and the proposed approach made it possible to systematically synthesize a model of the Internet system for thermo-electro-acoustic diagnostics of FRC and

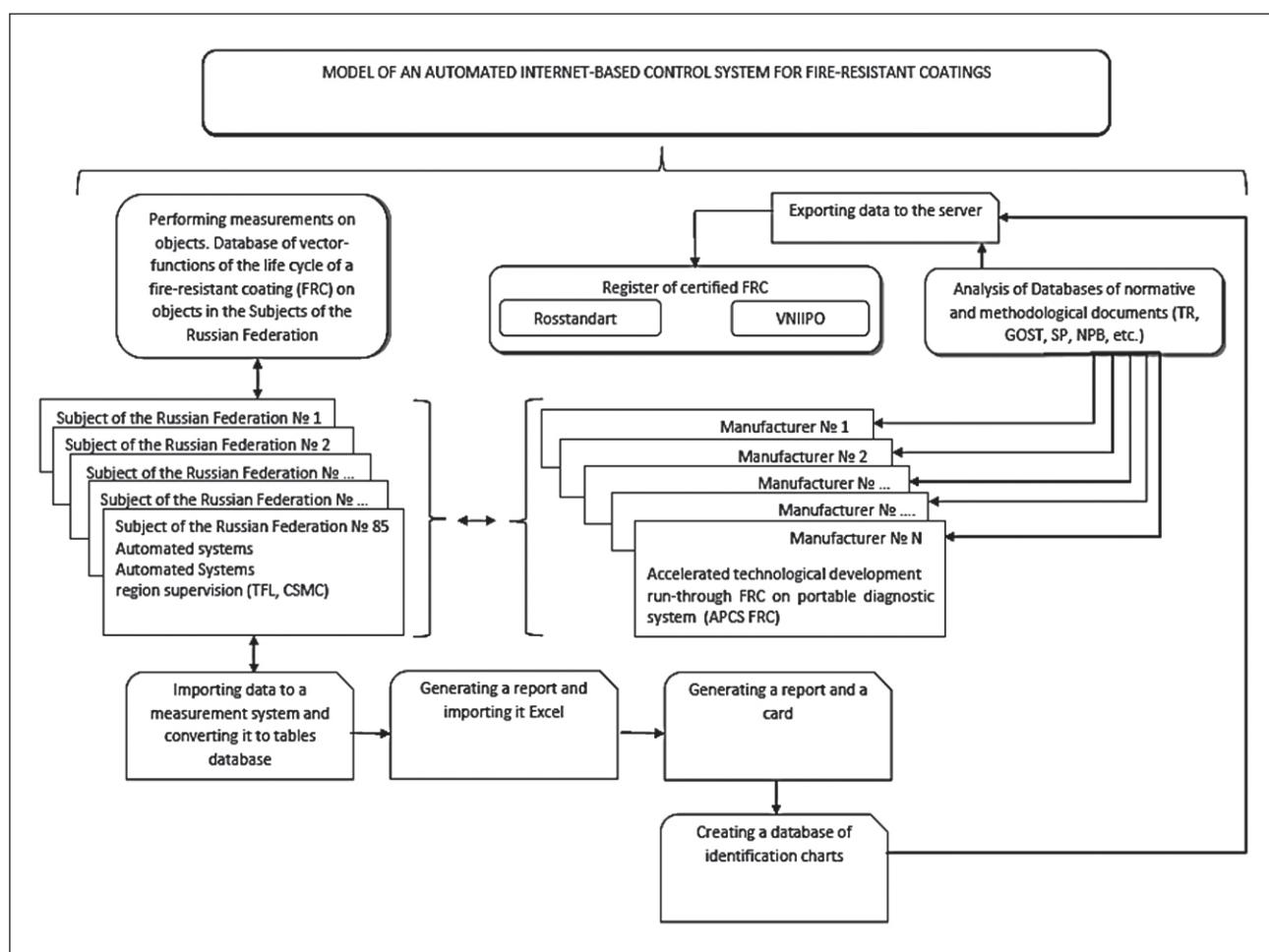


Fig. 5. General view of the information exchange scheme

operational stability of the protected materials (structures and elements of engineering systems), which can become the basis of the national surveillance system in this subject area [12, 14].

Such a national surveillance macro-system is an automated laboratory-operational Internet system (Fig. 5), consisting of 3 separate, but functionally connected systems – test, control and information [14].

Testing system – should consist of BETA analyzers with the proposed adaptation, which should be equipped with all regional forensic institutions Testing Fire Laboratories (TFL) EMERCOM of Russia and Centers for Standardization, Metrology and Certification (CSMC) of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrolology (Rosstandart) [10, 15, 16].

The control system consists of the PDCFRC, which with the help of TEA probes will allow to measure, process and carry out diagnostics by the specialists of these test divisions of the condition of the protected materials and the FRC in the conditions of operation at the facilities [8, 12, 14].

The information system (Fig. 5) will consist of servers and sites of Rosstandart and VNIIPo EMERCOM of Russia, with a bank of TEA-data of FRC and protected materials filled by FMC and VNIIPo (FSBI SEU FPS IPL) EMERCOM of Russia, as well as a database of the current TEA-diagnostics FRC on the objects filled in

«on-line» mode through the specified sites by bodies for certification of products, objects and bodies of supervision [14].

The solution of tasks in the information system can be carried out using the available Internet portals [12, 14]:

- FSBI VNIIPo EMERCOM of Russia (<http://www.vniipo.ru>),
- Rosstandart (<http://www.gost.ru/wps/portal/>).

CONCLUSION

The proposed approach and PDCFRC implement a quick analysis of the FRC at the facility, complementing the known methods for determining fire retardant efficiency, which are reflected in the relevant regulatory documents [1, 3–5] and research [6–8], including thermal [17] and thermo-electro-acoustic analysis [18, 19], creating a «FRC image» for the subsequent identification of the stages of its «aging», and, therefore, for determining the actual time of its updating at any objects of supervision [12, 14, 15].

The proposed approach and PDCFRC allowed synthesizing a model of the Internet system of thermo-electro-acoustic diagnostics of FRC and operational stability of the protected materials (structures and elements of engineering systems), which can become the basis of the national surveillance system in this subject area [14].

Part I of the paper «Nanotechnologies for testing and diagnostics of materials, constructions and elements of engineering systems of buildings from them with fire retardant coatings» has been published in the issue 3/2020 of the journal «Nanotechnologies in Construction».

REFERENCES

1. GUGPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia. NPB 236-97. Fire retardants for steel structures. General requirements. Method for determining fire-retardant efficiency. Collection of guiding documents of the State Fire Service, Part 6. Moscow: 1997. (In Russian).
2. GOST R 53292-2009. Fire retardant compositions and substances for wood and materials based on it. General requirements. Test Methods. Moscow: Standartinform; 2009. (In Russian).
3. GOST R 53295-2009. Fire protection for steel structures. General requirements. Method for the determination of fire-retardant effectiveness. Moscow: Standartinform; 2009. (In Russian).
4. GOST R 53311-2009. Fireproof cable coatings. Methods for determining flame retardant efficiency. Moscow: Standartinform; 2009. (In Russian).
5. GOST R 53293-2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substances and means of fire protection. Identification by methods of thermal analysis. Moscow: Standartinform; 2009. (In Russian).
6. Kalchenko I.E. An analysis of the objectivity of assessing fire resistance and the effectiveness of fire protection of structures of infrastructure for various purposes. Theoretical and applied aspects of modern science. 2014; 3-1: 64–72. (In Russian).
7. Belozerov V.V., Kalchenko I.E., Prus Yu.V. The system of thermoelectroacoustic diagnostics of fire resistance of objects. Annual international scientific and technical conference Security Systems – SB-2013. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia. 2013. Pp. 224–227. (In Russian).
8. Kalchenko I.E. Simulation methods for assessing the quality of fire retardant coatings. Technosphere Safety Technologies. 2015;1(59). URL: <http://academygps.ru/ttb>. (In Russian).

9. Kalchenko I.E. A portable diagnostic system for fire retardant coatings – utility model. Patent RF No. 157151. Bull. No. 32. 11/20/2015.
10. Belozerov V.V., Marchenko A.V., Prus Yu.V. BETA-analysis in the diagnostics of safety and strength of structural materials. In: Annual international scientific and technical conference Security systems. SB 2008:Proceedings of the 17th Int. Conf. Moscow: AGPS of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2008. Pp. 54–57. (In Russian).
11. Belozerov V.V. Automated system for testing materials of the electrical and electronic industries with control of their fire hazard. Abstract of PhD thesis. Moscow: AGPS of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2008. (In Russian).
12. Prus Yu.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E. Thermo-electro-acoustic method and system for diagnosing the quality and durability of fire-retardant coatings. Electronics and Electrical Engineering. 2016; 1: 146–160. Available from: [DOI:10.7256/2453-8884.2016.1.21075](https://doi.org/10.7256/2453-8884.2016.1.21075). (In Russian).
13. Belozerov V.V. The vector-function of the life cycle of materials. In: «Fundamental and applied aspects of new highly efficient materials»: proceedings of the II All-Russian Scientific Internet Conference with International Participation. Kazan: IP Sinyav D.N., 2014. Pp. 11–13. (In Russian).
14. Belozerov V.V., Kalchenko I.E., Prus Yu.V. The model of the Internet system of thermo-electro-acoustic diagnostics of materials and fire retardant coatings. Modern problems of science and education. 2014;1. Available from:<http://www.science-education.ru/115-11952>. [Accessed 13th August 2020]. (In Russian).
15. Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E., Nguyen T.A., Topolsky N.G. Nanotechnology testing and diagnostics of materials, structures and elements of engineering systems of buildings with fire retardant coatings. Part 1. Nanotechnology in construction. 2020; 12 (3): 174–184. Available from: [DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184).
16. Belozerov V.V., Nguyen Tuan A., Belozerov Vi.V. Improvement of BETA-analysis for viscous media, flammable liquids and flame-retardant coatings. Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2019). 2019; 52–54.
17. STB 1333.2-2002. Polymeric products for construction. A method for determining the durability of polymer pipes for engineering systems (at a nominal value of the activation energy of thermo-oxidative degradation). Available from: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/06/sn30606.html>. [Accessed 13th August 2020]. (In Russian).
18. Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E. About unification of diagnostics and tests of solid and liquid materials and fireproof coverings. In: 7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society», 2015, 23–30 March, London, Great Britain. 2015. Pp. 31–41.
19. Bosy S.I., Builo S.I. About synchronization of thermal analysis with acoustic emission and electrometry. Electronics and Electrical Engineering. 2016;1:1-20. Available from: [DOI:10.7256/2453-8884.2016.1.21026](https://doi.org/10.7256/2453-8884.2016.1.21026). (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Vladimir V. Belozerov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor of Department «Automation of Production Processes», Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4758-1036>, e-mail: isagraf@mail.ru

Andrey I. Golubov, Applicant, Department of Automated Systems and Information Technologies, State Fire Service Academy of the Ministry of Emergencies of Russia, Moscow, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2877-7826>, e-mail: andreasen@yandex.ru

Ivan E. Kalchenko, Applicant, Department of Automated Systems and Information Technology, State Fire Service Academy of the Ministry of Emergencies of Russia, Moscow, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7449-2464>, e-mail: ivanmd@mail.ru

Yuri V. Prus, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, «Russian State University of Oil and Gas (Research University) I.M. Gubkin», Moscow, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9781-9458>, e-mail: prus.yuri@gmail.com

Author declare the absence of any competing interests.

Received: 18.04.2020.

Revised: 22.05.2020.

Accepted: 04.06.2020.



Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 2

В.В.Белозеров¹ , Вл.В.Белозеров¹ , А.И.Голубов² , И.Е.Кальченко^{2*} , Ю.В. Прус³

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

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

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», г. Москва, Россия

* Контакты: e-mail:ivanmd@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Для определения эффективности огнезащитных покрытий (ОЗП) в настоящее время существует система методов огневых и высокотемпературных испытаний огнезащищенных материалов и конструкций из них, однако методов и средств текущей эффективности огнезащиты нет, а существующие методики не распространяются на определение предела огнестойкости строительных конструкций с огнезащитой, а устанавливают только группу эффективности самих огнезащитных составов. Поэтому для оценки качества и долговечности ОЗП, при условии обеспечения ими параметров термоустойчивости защищаемых материалов, конструкций и элементов инженерных систем объектов, необходимо было разработать экспресс-метод и переносной комплекс диагностики огнезащитных покрытий (ПКД ОЗП). **Методы, модели и средства.** На основе системного анализа существующих технологий противопожарной защиты строительных материалов из дерева, металлов, резины и полимеров была разработана методология экспресс-анализа и переносной диагностический комплекс (ПДК) термо-электро-акустического (ТЭА) зондирования ОЗП, использующие термо-акустические методы, что позволило определять теплопроводность, скорость ультразвука и коэффициент его поглощения в ОЗП на объекте, а также провести сравнительный анализ «образа ОЗП», полученного на БЭТА-анализаторе с измеренными характеристиками, по результатам которых вычислить время его работоспособности. **Результаты и обсуждение.** ПДК ОЗП состоит из корпуса с ноутбуком, с измерителем имитанса и двухканальной осциллографической приставкой, подключённых к ноутбуку, на входы которых подключается блок ТЭА-зондирования, прижимаемый к ОЗП проверяемого объекта (конструкции, материала, кабеля) по тепловым, электрическим и акустическим сигналам, с которого программное обеспечение (ПО) ноутбука идентифицирует свойства и стадии эксплуатационной устойчивости ОЗП. ПДК ОЗП и предлагаемый подход позволили синтезировать модель Интернет-системы ТЭА диагностики ОЗП и надзора за эксплуатационной устойчивостью защищаемых материалов. Новизна исследования защищена патентами РФ. **Заключение.** Предлагаемый подход и ПДК ОЗП позволили реализовать экспресс-анализ ОЗП на объекте эксплуатации и синтезировать модель Интернет-системы ТЭА-диагностики ОЗП, которая может стать основой национальной системы надзора в данной предметной области.

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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 // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 4. – С. 216–222. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-4-216-222.

ВВЕДЕНИЕ

Для определения эффективности огнезащитных покрытий (ОЗП) в настоящее время существует

система методов огневых и высокотемпературных испытаний огнезащищенных материалов и кон-

структур из них [1, 2]. Однако методов и средств текущей эффективности огнезащиты нет, а существующая методика оценки разделяет ОЗП на семь групп, в зависимости от времени прогрева до 500°C стальной колонны двутаврового сечения профиля № 20 или профиля № 20Б1 высотой 1700 мм, покрытой ОЗП [3]:

- 1-я группа – не менее 150 мин.;
- 2-я группа – не менее 120 мин.;
- 3-я группа – не менее 90 мин.;
- 4-я группа – не менее 60 мин.;
- 5-я группа – не менее 45 мин.;
- 6-я группа – не менее 30 мин.;
- 7-я группа – не менее 15 мин.

При этом методика не распространяется на определение предела огнестойкости строительных конструкций с огнезащитой, а устанавливает только группу эффективности самих ОЗП. Такой же подход используется для ОЗП, применяемых для защиты древесины, кабелей и т.д. [2–5].

Таким образом, опять **налицо латентная форма оценки эффективности ОЗП** – не по работоспособности (прочности, термостойкости, изолирующей способности и т.д.) защищаемого материала, а по косвенным характеристикам самого ОЗП [6].

Именно поэтому для оценки качества и долговечности ОЗП в реальных условиях эксплуатации, при условии обеспечения ими параметров устойчивости к воздействию защищаемых материалов, конструкций и элементов инженерных систем объектов (зданий, сооружений), необходимо было разработать экспресс-метод и переносной диагностический комплекс огнезащитных покрытий (ПДК ОЗП).

МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРЕДСТВА

На основе системного анализа существующих технологий противопожарной защиты строительных

материалов из дерева, металлов, резины и полимеров была разработана методология экспресс-анализа и переносной диагностический комплекс (ПДК) термо-электро-акустического (ТЭА) зондирования ОЗП, использующие термо-акустические методы, что позволило определять теплопроводность, скорость ультразвука и коэффициент его поглощения в ОЗП на объекте, а также провести сравнительный анализ «образа ОЗП», включающего его эксплуатационное старение, полученного на БЭТА-анализаторе, с измеренными характеристиками на объекте во время проверки, по которым вычислить время его работоспособности [6–10].

Разработанный способ термо-электро-акустического (ТЭА) зондирования использует не только метод акустической эмиссии (АЭ), но и метод молекулярно-акустического анализа (МА), что позволяет определить скорость – $c(T)$ и частоту – $\omega(T)$ ультразвука в ОЗП, после чего вычислить коэффициент его поглощения – α_c и проверить значение E – модуля Юнга, полученного на БЭТА-анализаторе [9–11]:

$$E = \rho \cdot c^2, \text{ where } c(T) = (2l_b + d/2)/(\tau_r - \tau_n), \quad (1)$$

$$\alpha_c = \frac{\omega^2}{2\rho \cdot c^3} \left[\frac{4}{3} \eta + \varepsilon + \lambda \cdot \left(\frac{1}{C_V} - \frac{1}{C_P} \right) \right], \quad (2)$$

где l_b – длина акустического волновода, d – диаметр образца, τ_r – время возбуждения первым датчиком импульса от эталонного генератора, τ_n – время приема вторым датчиком импульса от эталонного генератора, ρ – плотность образца, c – скорость звука в образце, ω – круговая частота звуковой волны, η – коэффициент сдвиговой вязкости, ε – коэффициент объемной вязкости, λ – коэффициент теплопроводности, C_V – теплоемкость при постоянном объеме, C_P – теплоемкость при постоянном давлении.

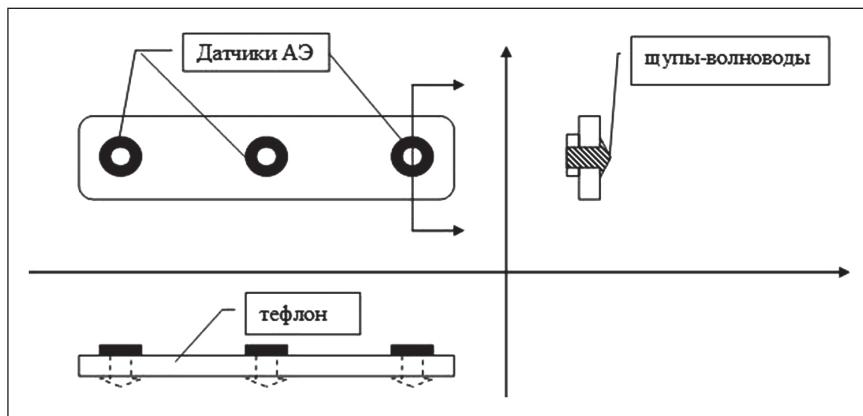


Рис. 1. Плата ТЭА-зондов

ТЭА-зондирование осуществляется с помощью специальной платы (рис. 1), которая содержит три металлических зонда, установленных на фторопластовой пластине по прямой линии на фиксированных расстояниях, на каждом из которых установлен акустический датчик. Крайние датчики подключаются на отдельные входы осциллографической приставки через предусилители, регистрируя акустические сигналы, а центральный – на выход ее эталонного генератора через управляемый электронный ключ, работая как излучатель ультразвуковых сигналов [7, 9].

На каждом из трех зондов установлено по одному тепловому датчику, подключаемому на вход измерителя иммитанса через управляемый коммутатор, измеряя температуру (по изменению их сопротивлений). Каждый из трех зондов представляет заостренный термо-электро-акустический волновод из молибдена, подключаемый на вход измерителя иммитанса через управляемый коммутатор, для измерения электрических и тепловых параметров ОЗП между зондами, а к осциллографической приставке – для измерения акустических сигналов [9].

При калибровке по известной плотности стенки корпуса ПДК ОЗП из алюминиевого сплава (ρ), теплоемкости (C_p) и модулю объемной упругости ($K = 1/\beta$), а также калиброванных расстояний между зон-

дами (l_{12} и l_{11}) специальное программное обеспечение (рис. 2) управляет ПДК и определяет следующие параметры [9, 12]:

- механические – модуль Юнга ($E = \rho C^2$), модуль сдвига ($G = 3E/(9-E/K)$) и коэффициент Пуассона ($\nu = E/2G-1$);
- тепловые – температуры поверхности (T_1 и T_2), коэффициенты теплопроводности (λ) и температуропроводности ($a = \lambda/(\rho \cdot C_p)$);
- электрические – проводимость (G), комплексное сопротивление (Z), тангенс угла потерь ($\operatorname{tg}\delta$), диэлектрическую (ϵ) и магнитную проницаемость (μ), решая уравнение характеристического (поверхностного по Леоновичу) импеданса ($Z = (\mu/\epsilon)^{1/2}$);
- акустических – интенсивности потока (количества в единицу времени) актов акустической эмиссии ($A\mathcal{E}$) dN/dt , их общего количества N_a , амплитуды Аи спектрального состава излучения $U(f)$, а также скорости звука (C).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе калибровки осуществляется настройка всех измерительных каналов на параметры «корпуса-шунта» из алюминиевого сплава (рис. 3), путем вычисления соответствующих погрешностей элек-

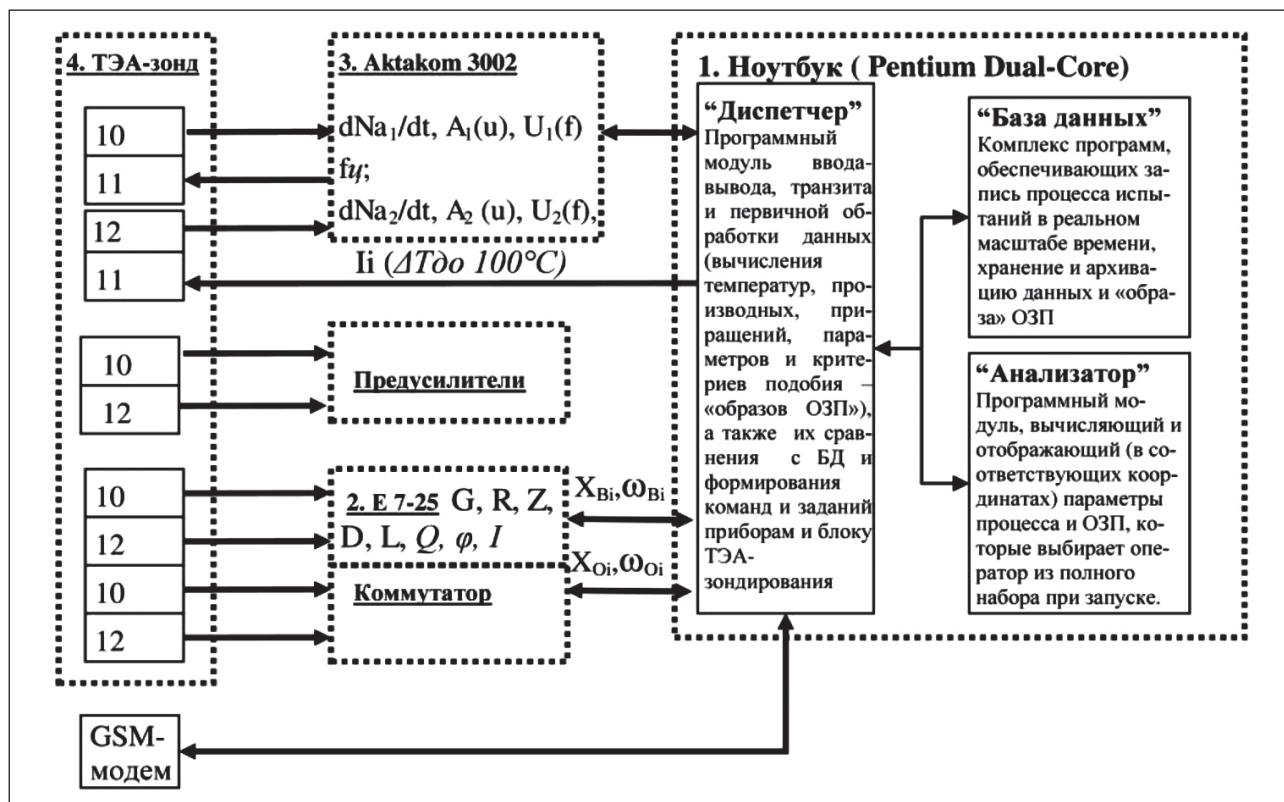


Рис. 2. Структурная схема СПО

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

трических ($\Delta\phi$), температурных (Δt) и акустических (Δa) измерительных каналов и их корректировка.

ПДК ОЗП состоит из корпуса (1) с ноутбуком (2), с измерителем иммитанса (3) и двухканальной осциллографической приставкой (4), подключенных к ноутбуку, на входы которых соответствующими кабелями подключается блок термо-электро-акустического (ТЭА) зондирования (5), прижимаемый к ОЗП проверяемого объекта (конструкции, материала, кабеля) по тепловым, электрическим и акустическим сигналам, с которых специальное программное обеспечение (СПО) ноутбука идентифицирует свойства и стадии эксплуатационной устойчивости ОЗП. При этом осциллографическая приставка подключается и питается от разъема USB ноутбука (рис. 4), а измеритель иммитанса питается от встроенного в него аккумулятора и подключается к другому разъему USB. Блок ТЭА зондирования входит в переносной комплекс, состоит из двух предустановленных (6), коммутатора (7), многожильного соединительного кабеля (9) и платы ТЭА-зондов (8), на которой установлен эталонный зонд (10), центральный измерительный зонд (11) и крайний измерительный зонд (12). Этапонный зонд содержит акустический датчик, излучающий ультразвуковой импульс, тепловой датчик-нагреватель молибденового щупа до температуры 100°C. Центральный и крайний измерительные зонды одинаковы и представляют собой заостренные металлические стержни, выполняющие функции термо-электро-акустических шупов-волноводов, на которых смонтированы тепловые

и акустические датчики. Для измерения температуры и сопротивления ОЗП между зондами используется измеритель иммитанса с коммутатором, а датчики, регистрирующие акустические сигналы, подключаются к осциллографической приставке [9, 12].

Ноутбук может представлять собой любой двухпроцессорный компьютер с ОЗУ не менее 4 Гбайт и ОС Windows 7, программное обеспечение (ПО) которого помимо пакетов программных модулей (ППМ), измерителя иммитанса и двухканальной осциллографической приставки включает в себя специальное программное обеспечение (СПО), которое синхронизирует работу всех указанных составных частей ПК и, обрабатывая получаемые ТЭА-данные, вычисляет текущие параметры ОЗП, по которым идентифицирует стадии его эксплуатационной устойчивости и определяет эффективность защиты [9, 12].

В качестве измерителя иммитанса использован Е7-25 с автономным питанием, а осциллографическая приставка должна быть двухканальной (например, Актаком 3002) с функцией анализатора спектра и питанием от USB – разъема ноутбука (рис. 4).

ПДК ОЗП приводится в действие включением ноутбука и измерителя иммитанса с выбором из «меню» процедуры «калибровка», после которой блок ТЭА-зондирования вынимается из корпуса ПК и прижимается к проверяемому объекту с ОЗП (конструкции, кабелю, материалу), после чего запускается режим «диагностика ОЗП» с помощью того же специального программного обеспечения (рис. 2). При этом для идентификации состояния

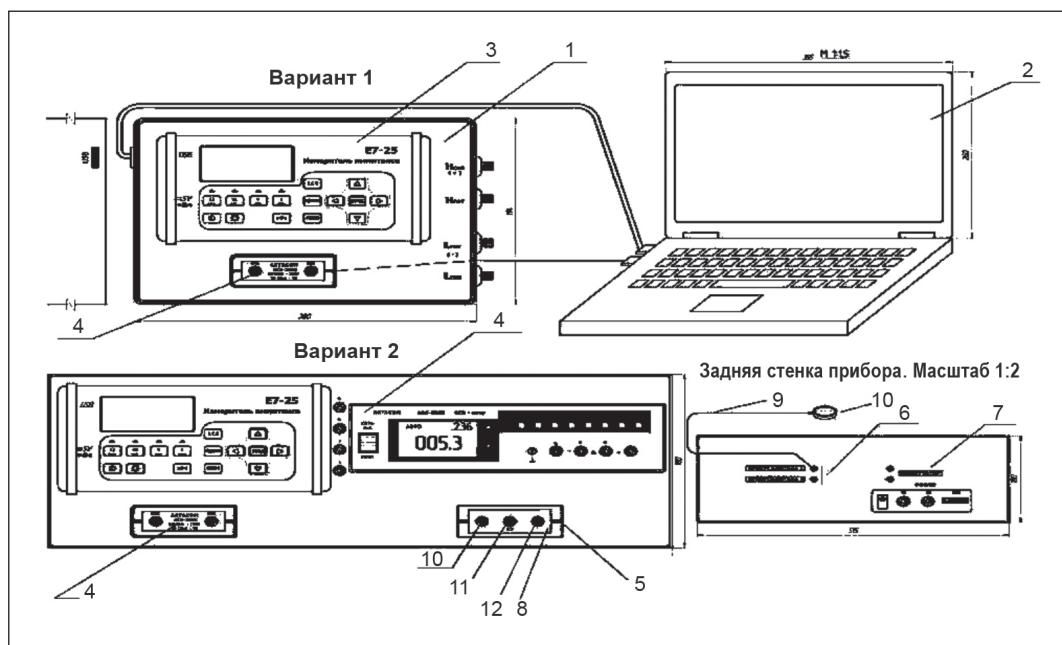


Рис. 3. Общий вид ПКД ОЗП с вариантами исполнения

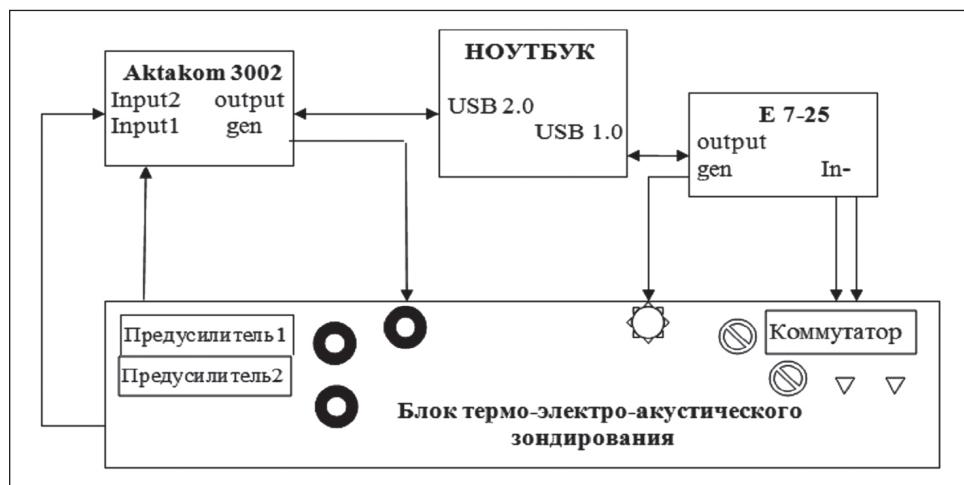


Рис. 4. Блок-схема программно-технического комплекса

ОЗП, т.е. стадии его эксплуатационного старения, в базе данных ПК должен быть «образ ОЗП», который представляет собой его вектор-функцию жизненного цикла в интервале температур от минус 55 до плюс 65°C, полученный на БЭТА-анализаторе, по которым определяется стадия устойчивости и вычисляется время обновления ОЗП [12, 13].

ПДК ОЗП и предлагаемый подход позволили осуществить системный синтез модели Интернет-системы термо-электро-акустической диагностики ОЗП и эксплуатационной устойчивости защищаемых материалов (конструкций и элементов инженерных систем), которая может стать основой национальной системы надзора в данной предметной области [12, 14].

Такая национальная макросистема надзора представляет собой автоматизированную лабораторно-оперативную Интернет-систему (рис. 5), состоящую из 3-х отдельных, но функционально связанных систем – испытательной, контрольной и информационной [14].

Испытательная система должна состоять из БЭТА-анализаторов с предлагаемой адаптацией, которыми должны быть оснащены все региональные судебно-экспертные учреждения «Испытательные пожарные лаборатории» (СЭУ ИПЛ) МЧС России и Центры стандартизации, метрологии и сертификации (ЦСМ) Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) [10, 15, 16].

Контрольная система состоит из ПКД ОЗП, которые с помощью ТЭА-зондов позволяют измерять, обрабатывать и осуществлять специалистами указанных испытательных подразделений диагностику состояния защищаемых материалов и ОЗП в условиях эксплуатации на объектах [8, 12, 14].

Информационная система (рис. 5) будет состоять из серверов и сайтов Росстандарта и ВНИИ ПО МЧС России, с банком ТЭА-данных ОЗП и защищаемых материалов, наполняемых ЦСМ и ИПЛ МЧС России, а также базой данных текущей ТЭА-диагностики ОЗП на объектах, наполняемых в «on-line» режиме через указанные сайты органами по сертификации продукции, объектами и органами надзора [14].

Решение задач в информационной системе может быть осуществлено с помощью имеющихся Интернет-порталов [12, 14]:

- ФГБУ ВНИИ ПО МЧС России (<http://www.vniipo.ru>),
- Росстандарта (<http://www.gost.ru/wps/portal/>).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход и ПДК ОЗП реализуют экспресс-анализ ОЗП на объекте эксплуатации, дополняя известные методы определения огнезащитной эффективности, которые отражены в соответствующих нормативных документах [2–5] и исследованиях [6–8], в т. ч. методами термического [17] и термо-электро-акустического анализа [18, 19], создавая «образ ОЗП» для последующей идентификации стадий его «старения», а следовательно, и для определения фактического времени его обновления на любых объектах надзора [12, 14, 15].

Предлагаемый подход и ПДК ОЗП позволили синтезировать модель Интернет-системы термо-электро-акустической диагностики ОЗП и эксплуатационной устойчивости защищаемых материалов (конструкций и элементов инженерных систем), которая может стать основой национальной системы надзора в данной предметной области [14].

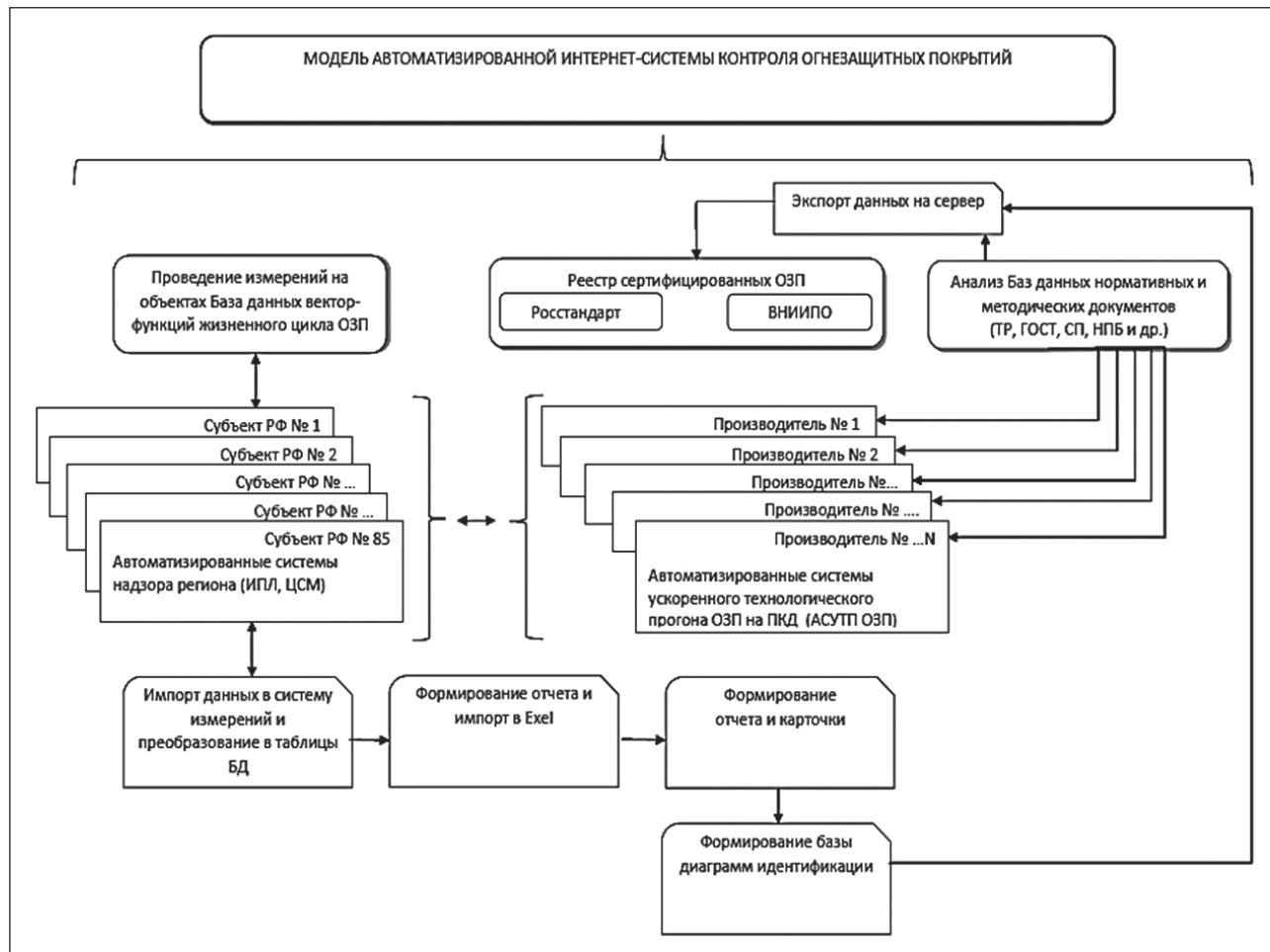


Рис. 5. Общий вид схемы обмена информации

Часть I статьи «Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями» опубликована в номере 3/2020 журнала «Нанотехнологии в строительстве».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПБ 236-97 Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности // Сборник руководящих документов Государственной противопожарной службы. Часть 6. – М: ГУГПС МВД России, 1997. – 13 с.
2. ГОСТ Р 53292-2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.
3. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. – М.: Стандартинформ, 2009. – 9 с.
4. ГОСТ Р 53311-2009 Покрытия кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности. – М.: Стандартинформ, 2009. – 9 с.
5. ГОСТ Р 53293-2009 Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. – М.: Стандартинформ, 2009. – 23 с.
6. Кальченко И.Е. Анализ объективности оценки огнестойкости и эффективности огнезащиты конструкций объектов инфраструктуры различного назначения // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. – № 3-1. – С. 64–72.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

7. Белозеров В.В., Кальченко И.Е., Прус Ю.В. Система термоэлектроакустической диагностики пожарной устойчивости объектов // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности – СБ-2013. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 224–227.
8. Кальченко И.Е. Имитационные методы оценки качества огнезащитных покрытий//Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 1(59). – С. 5. – URL: <http://academygps.ru/ttb>.
9. Кальченко И.Е. Переносной комплекс диагностики огнезащитных покрытий – патент на полезную модель № 157151. – Бюл. № 32. 20.11.2015.
10. Белозеров В.В., Марченко А.В., Прус Ю.В. БЭТА-анализ в диагностике безопасности и прочности конструкционных материалов // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности. – СБ 2008: Матер. 17-й междунар. конф. – М: АГПС МЧС РФ, 2008. – С. 54–57.
11. Белозеров В.В. Автоматизированная система испытаний материалов электротехнической и радиоэлектронной промышленности с контролем их пожарной опасности: дис. канд. тех. наук. – М.: АГПС МЧС РФ, 2008. – 153 с.
12. Прус Ю.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е. Термо-электро-акустический метод и система диагностики качества и долговечности огнезащитных покрытий // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С. 146 –160. – DOI:[10.7256/2453-8884.2016.1.21075](https://doi.org/10.7256/2453-8884.2016.1.21075).
13. Белозеров В.В. Вектор-функция жизненного цикла материалов // Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоеффективных материалов: Сб. мат-лов II Всероссийской научной Интернет – конференции с международным участием. – Казань: ИП Синяев Д.Н., 2014. – С. 11–13.
14. Белозеров В.В., Кальченко И.Е., Прус Ю.В. Модель Интернет-системы термо-электро-акустической диагностики материалов и огнезащитных покрытий // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – 15 с. – <http://www.science-education.ru/115-11952>.
15. Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г. Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 174–184. – DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184).
16. Belozerov V.V., Nguyen Tuan A., Belozerov Vl.V. Improvement of BETA-analysis for viscous media, flammable liquids and flame-retardant coatings // Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2019) Editors: I. Parinov, B.T. Long, N.T.H. Minh, N.D. Toan, S.H. Chang. 2019. C. 52–54.
17. СТБ 1333.2-2002. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности труб полимерных для инженерно-технических систем (при номинальном значении энергии активации термоокислительной деструкции...). – <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/06/sn30606.html>.
18. Belozerov V.V., Golubov A.I., Kalchenko I.E. About unification of diagnostics and tests of solid and liquid materials and fireproof coverings // 7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» / London 23–30 March 2015, pp. 31–41.
19. Босый С.И., Буйло С.И. О синхронизации термического анализа с акустической эмиссией и электрометрией // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С. 1–20. – DOI:[10.7256/2453-8884.2016.1.21026](https://doi.org/10.7256/2453-8884.2016.1.21026).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Белозеров Владимир Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», профессор РАЕ, г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4758-1036>, e-mail: isagraf@mail.ru

Голубов Андрей Иванович, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Академия ГПС» МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2877-7826>, e-mail: andreasen@yandex.ru

Кальченко Иван Евгеньевич, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7449-2464>, e-mail: ivanmd@mail.ru

Прус Юрий Витальевич, д.ф.-м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9781-9458>, e-mail: prus.yuri@gmail.com

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 18.04.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 22.05.2020.

Статья принята к публикации: 04.06.2020.



Nanotechnology in Construction: State of the Art and Future Trends

Zh.V. Pisarenko¹ , L.A. Ivanov² , Q. Wang^{3*} 

¹ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

² Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

³ China University of Petroleum, Qingdao, China

* Corresponding author: e-mail:wangqiang7@upc.edu.cn

ABSTRACT: The construction industry has long been regarded as energy-intensive and high pollution industry. The emergence of nanotechnology provides an ideal solution for the construction industry to energy saving and consumption reduction. The introduction of nanotechnology has greatly promoted the development of new green building materials and brought huge economic and social benefits. This paper applies bibliometric analysis to review the nanotechnology-construction research collected by Web of Science database during 2000–2020, and further visualize their literature characteristics. At the global level, the number of literatures on nanotechnology-construction research has been on the rise in 2000–2019, although it has experienced a small decline in individual years. At the national level, the United States has become the global leader in nanotechnology-construction research with 63 articles, far more than other countries. Considering the income gap, developed countries play an indispensable role in the global nanotechnology-construction research system, while the role of developing countries is relatively weak. We found that the existing nanotechnology-construction research mainly focused on the fields of chemistry and materials science. According to the frequency of keywords, the research focus of nanotechnology-construction research mainly focused on the development and application of new building materials. It is concluded that with the extensive attention of researchers, the future research on nanotechnology-construction will continue to appear and increase at increasing rate.

KEYWORDS: nanotechnology-construction research, bibliometrics, co-citation analysis, mapping knowledge domains.

FOR CITATION: Pisarenko Zh.V., Ivanov L.A., Wang Q. Nanotechnology in Construction: State of the Art and Future Trends. Nanotechnologies in Construction. 2020;12(4):223–231. Available from: doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231.

INTRODUCTION

Nanotechnology is an emerging technology that was born in the late 1980s and is currently booming, which can develop materials and products with specific functional characteristics according to the expectations of researchers[1]. Nanotechnology is evaluated as a major discovery in the history of science in recent years and has become a research hotspot in many disciplines. The unique structure, photoelectricity, mechanics and physicochemical properties of nanotechnology make it widely applied in industry and people's livelihood [2, 3].

The construction industry has always been a high energy consumption and pollution-intensive industry. In the future, low-carbon economy will become the mainstream of social and economic development [4]. As a result, new

green building materials have very broad market development prospects. Nanomaterials brought an unprecedented revolution to the development of building materials with their unique properties of light, electricity, heat and magnetism, which greatly promoted the development of emerging building materials [5, 6]. Therefore, nanomaterials have a very broad market application prospect and huge economic and social benefits in building materials.

By analyzing the evolution of nanotechnology-construction research, we can obtain the current application status and future trend of nanotechnology in the construction field. Based on bibliometric analysis and visualization tools, this paper provides a research profile of nanotechnology-construction research, which reviews the publications related tonanotechnology-construction-collected in the Web of Science (WoS) database from 2000

to 2020 and their literature characteristics. Our results can identify the research hotspots of nanotechnology in the construction industry and provide theoretical support for further expanding the application of nanotechnology in the construction industry.

MAINPART

Materials and Methods

The data in this paper comes from the Web of Science Core Collection database of WOS database. WOS is the global authoritative, high-quality citation database, collecting a considerable number of publications from the fields of natural sciences, social sciences, arts and humanities, including books, journal articles, conference proceedings [7]. We searched with “TOPIC: (construction) AND TOPIC: (nanotechnology)” as the search type, and the time span was from 1900 to April 19, 2020. A total of 1204 records were obtained, including 705 articles, 9 editorial materials, 1 letter, 2 meeting abstracts, 3 news items, 164 procedures papers, and 320 reviews.

This paper uses bibliometric analysis based on data mining technology to investigate the current situation of the application of nanotechnology in the construction industry[8]. Furthermore, Mapping Knowledge Domains is adopted to visualize the hot topics and innovation areas in the existing nanotechnology-construction research. The method framework of this paper is shown in Fig. 1. Generally speaking, bibliometrics method contains three

steps: identification, screening and analysis. In order to ensure the accuracy and validity of the data, the preliminary search results were deduplicated.

Bibliometric analysis allows us to systematically investigate the development of specific research field, and through quantitative and qualitative analysis of external features of the literature, such as author, keywords, citation, etc. [9]. This method can objectively evaluate the research status and development history of different countries, regions, scientific research institutions or authors in a specific field, so as to obtain information on the basic structure, frontier hotspots and development trends in the field. In addition, Citespace is used to complete the visual analysis of the data. Citespace software is a classic visualization tool that is widely used to present the structure, law and distribution of scientific knowledge [10]. Visual analysis provides Mapping Knowledge Domains to help readers better understand the findings of this paper. The visualization software analyzes the co-citation of the literature, mines the knowledge clustering and distribution of the citation space [11]. Moreover, it provides the collinear analysis function between other knowledge units, such as the cooperation of authors, institutions, and countries.

Bibliometric analysis

This study comprehensively evaluates the development status and future trends of nanotechnology-construction research from four aspects: annual trend, cited authors, active countries and keywords.

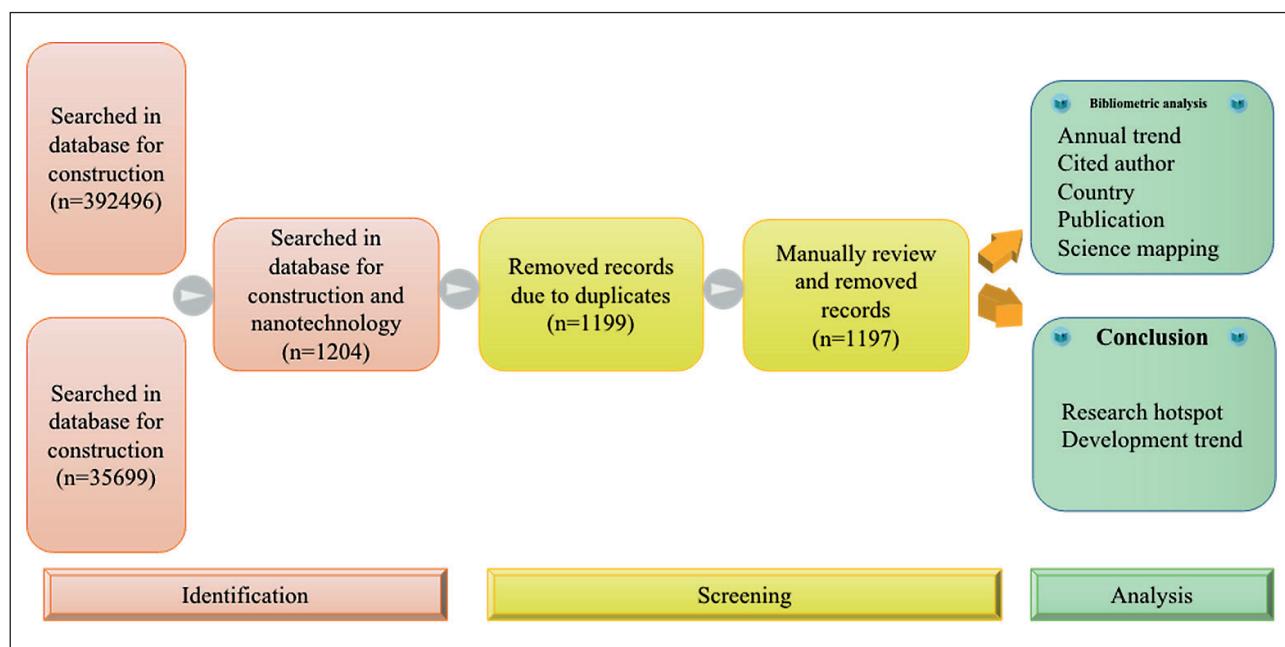


Fig.1. Steps of bibliometric analysis

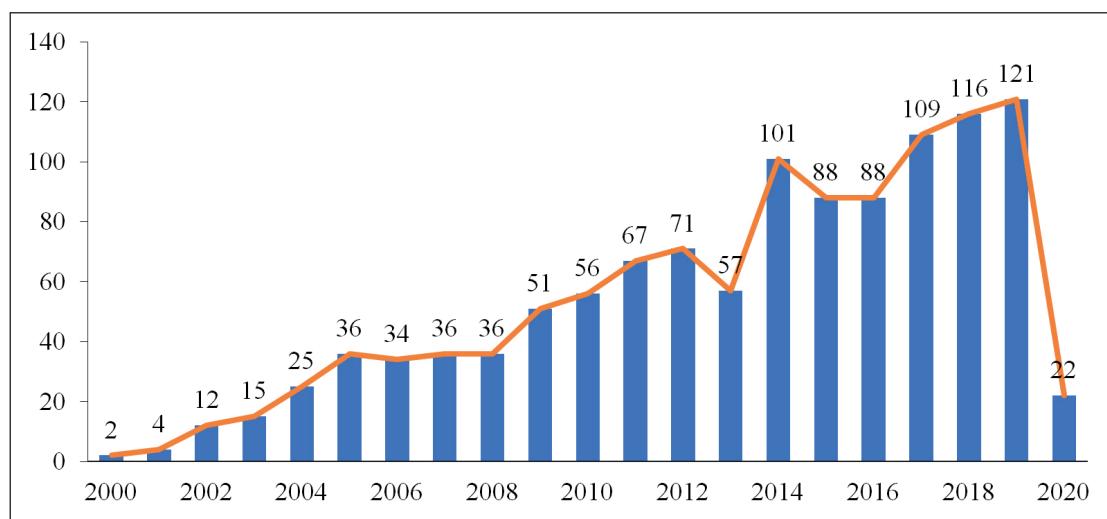


Fig. 2. Annual trend of nanotechnology-construction research 2000–2020

(i) Annual trend

Overall, the WOS database collected the first article related to nanotechnology-construction in 2000, marking the beginning of the application of nanotechnology in the construction industry (Fig. 2). From 2000 to 2019, the number of articles in this field has been showing an upward trend, indicating that the application of nanotechnology in the construction industry aroused the interest of scholars. It should be noted that due to incomplete statistics in 2020, it has no reference significance. With the passage of time, the popularity of nanotechnology-construction research continues to rise, attracting growing

number of researchers to pay attention to the innovative application of nanotechnology in the construction field.

Focusing on individual years, nanotechnology-construction research grew slowly during 2000–2012, indicating that the application of nanotechnology in the construction field is still at an early stage and its development is relatively slow. In 2013, nanotechnology-construction research experienced a significant drop, from 71 in 2012 to 57 in 2013. Subsequently, nanotechnology-construction research rebounded in 2014, an increase of 68.12%. After 2014, nanotechnology-construction research once again declined slightly, but overall it keeps increasing year by year.



Fig. 3. The proportion of cases distributed by category

In short, during the period 2000–2019, nanotechnology-construction research showed an increasing trend, although individual years experienced a small decline. If according to the current development trend, nanotechnology-construction research will continue to rise in the future. The emergence of nanotechnology has greatly improved traditional building materials, not only improving the performance of building materials, but also reducing environmental pollution. In this sense, nanotechnology-construction research will usher in a period of rapid growth.

(ii) Hot topics

Fig. 3 shows the categories of disciplines involved in existing nanotechnology-construction research. Nanotechnology-construction research involves 25 disciplines. Among the top 5 are chemistry multidisciplinary (338 articles), materials science multidisciplinary (314 articles), nanoscience nanotechnology (281 articles), chemistry physical (153 articles), physics applied (140 articles). The above data indicates that nanotechnology-construction research is mainly concentrated in the fields of chemistry

and materials science. The application of nanotechnology to improve traditional building materials is one of the main applications of nanotechnology in the construction industry. For example, nanotechnology can greatly improve the antibacterial and antifouling performance, aging resistance, hydrophilicity, and fire resistance of architectural coatings [12, 13]. New concrete developed using nanotechnology can significantly improve the strength and construction performance of cement concrete [14, 15].

In addition, nanotechnology-construction research also appeared in biochemistry molecular biology, physics condensed matter, engineering electrical electronic, optics, pharmacology pharmacy and other fields, which means that nanotechnology has become a common concern of many disciplines, and a lot of research is being carried out from different perspectives. The search results are in line with the development status of nanotechnology. In fact, nanotechnology is a highly cross-cutting comprehensive technology, covering many disciplines such as nanophysics, Nano chemistry, nanomaterials, Nano mechanics, nanobiology and so on. Because of this, nanotechnology is widely used in construction materials,

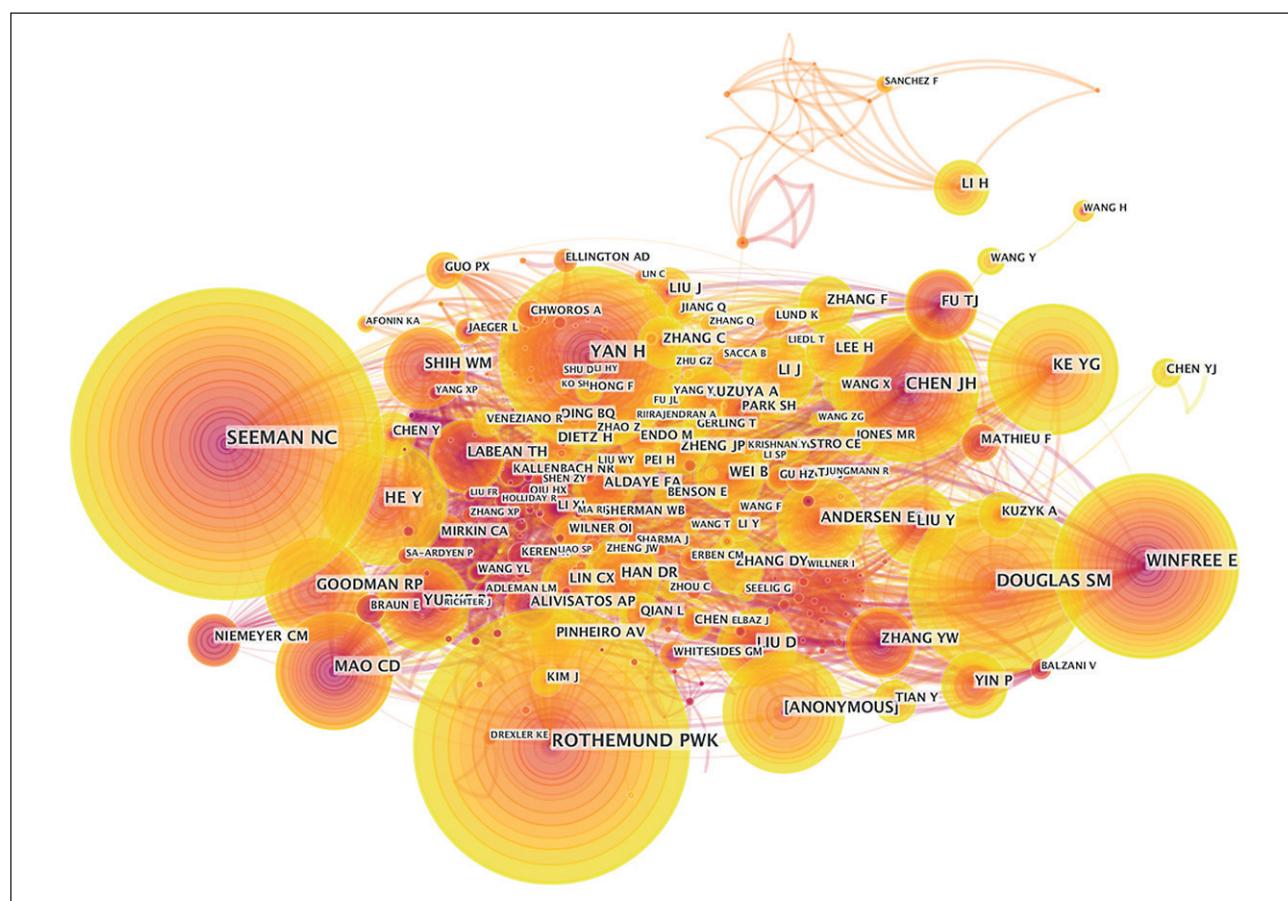


Fig. 4. The cooperation network of cited author

Table 1
The count of papers published by author

Order	Author name	Count	Main research directions
1	SEEMAN NC	265	BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY, GENETICS HEREDITY, CHEMISTRY
2	ROTHMUND PWK	233	BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY, SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS, GENETICS HEREDITY
3	WINFREE E	159	BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY, GENETICS HEREDITY, COMPUTER SCIENCE
4	YAN H	157	ENGINEERING, CHEMISTRY, PHYSICS
5	DOUGLAS SM	149	BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY, GENETICS HEREDITY, BEHAVIORAL SCIENCES
6	CHEN JH	125	ENGINEERING, CHEMISTRY, BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY
7	KE YG	113	PHYSICS, MATERIALS SCIENCE, SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS
8	HE Y	108	ENGINEERING, BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY, CHEMISTRY
9	[ANONYMOUS]	105	HEALTH CARE SCIENCES SERVICES, ENGINEERING, BUSINESS ECONOMICS
10	MAO CD	104	BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY, CHEMISTRY, GENETICS HEREDITY

optics, medicine, information communication, military and other fields. Nanomaterials technology is considered to be the only one that can be realized. With the continuous maturity of nanotechnology, its wide application in the construction field will become the development direction of new building materials [16, 17].

(iii) Cited Authors

Co-citation analysis means that two articles appear together in the reference list of the third article, which we call co-citation relationship. In this section, we conduct Author Co-Citation analysis on the basis of Journal Co-citation Analysis. The Author Co-Citation analysis can not only obtain high-cited authors in a certain field and identify influential scholars in this field, but also can understand the authors and their subjects of similar research topics in this field through the author co-citation network. Fig. 4 visualizes the results of the co-citation analysis.

As shown in Fig. 4, the area of concentric circles represents the author's central position. From purple, red, orange, and yellow, it means that the document time advances in turn. The observed data indicates that 549 authors participated in the nanotechnology-construction study and there are 3250 co-cited relationships among them. The dense connection in Fig. 4 shows that the cooperation between the authors of nanotechnology-construction research is relatively close, which is con-

cive to promoting innovation and forward development in this field. Furthermore, the cooperation of the authors has increased over time, indicating that researchers in nanotechnology-construction research have strengthened their cooperation and are forming a stable cooperative network.

Table 1 lists the top 10 authors by volume, including their total citations and main research directions. From the data in Table 1, the main research directions of these highly cited authors are concentrated in the field of Biochemistry Molecular Biology. In addition, Materials Science, Genetics Heredity and Engineering are also their main subjects. Nanotechnology is to study the properties and applications of substances at the molecular and atomic level (between 0.1–100 nm). Therefore, many scholars conducting research on nanotechnology-construction are gathered in these fields.

(iv) Countries

Fig. 5 depicts the path of cooperation between countries in nanotechnology-construction research system. The area of the circle depends on the number of publications. From Fig. 5, the United States is the global leader in nanotechnology-construction research, because it has the most publications with 63 articles. China ranked second, followed by Germany, Japan and the United Kingdom. As far as the country is concerned,

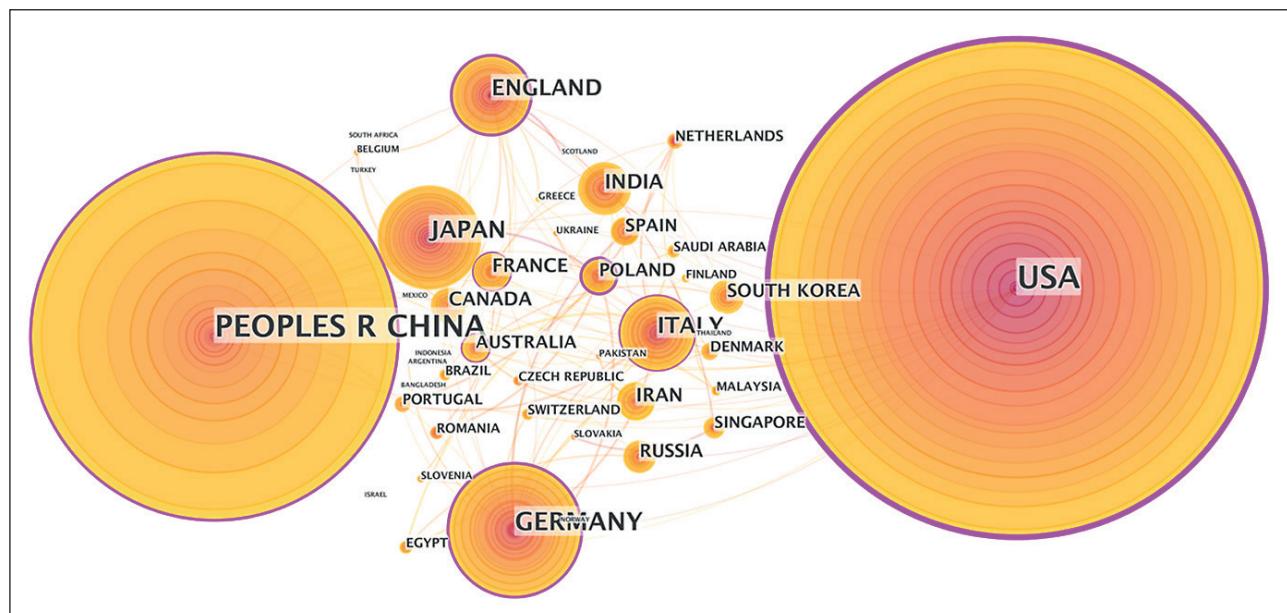


Fig. 5. National cooperation network

Table 2
Number of papers in countries

Order	Country	Count	Continent
1	USA	63	North America
2	PEOPLES R CHINA	33	Asia
3	ITALY	18	Europe
4	GERMANY	15	Europe
5	IRAN	8	Europe
6	POLAND	6	Europe
7	FRANCE	6	Europe
8	JAPAN	6	Asia
9	SOUTH KOREA	5	Asia
10	ENGLAND	4	Europe

nanotechnology-construction research is distributed all over the world. In comparison, countries in North America, Europe, Asia and Oceania are more active in participating in nanotechnology-construction research. Table 2 lists the number of publications in the top 10 countries, which are: the United States, China, Italy, Germany, Iran, Poland, France, Japan, South Korea and the United Kingdom. Considering the income gap, most of these leading countries are developed countries, which means that developed countries play an indispensable role in the global nanotechnology-construction research system.

(v) Keywords

Fig. 6 summarizes the keywords that appear in nanotechnology-construction research according to the time point of first occurrence. Keywords often condense the central idea and research methods of an article. It can help us quickly grasp the core content of an article, and then understand the cutting-edge research direction in a specific field. Table 3 lists the top 10 high frequency keywords and their frequency.

The higher the frequency of keywords, the more intensive the research. Due to the numerous disciplines

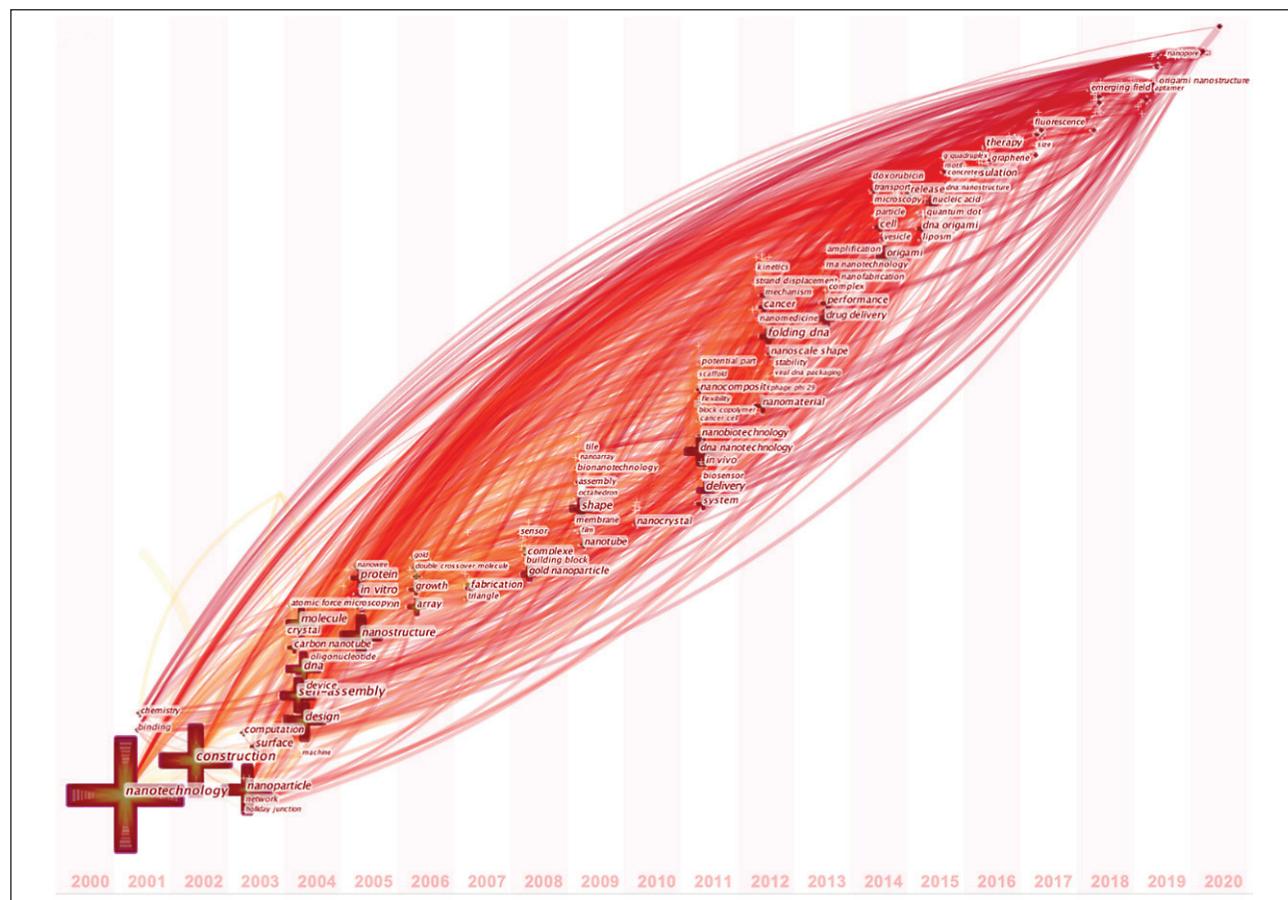


Fig. 6. Keywords in nanotechnology-construction research

Table 3
Top 10 high frequency keyword

Order	Keywords	Count	Order	Keywords	Count
1	nanotechnology	104	6	carbon nanotube	16
2	nano particle	35	7	surface	15
3	construction	25	8	concrete	12
4	nanomaterial	21	9	performance	12
5	mechanical property	19	10	growth	10

involved in nanotechnology construction research, the keywords are complex and widely distributed. In these literatures, the most frequent keywords are nanotechnology, which has appeared 104 times; followed by nanoparticle (appeared 35 times) and construction (appears 25 times). It can be seen that the existing focus of nanotechnology-construction research concentrated on the development and application of new building materials.

It should be noted that materials published on the Internet in free access, for example, in the journal «Nano-

technologies in construction» [18-21] and others are of great interest to scientists and specialists of the nanoindustry. Articles from the journal (article metadata) are available in open access:

- on the website of the electronic publication «Nanotechnology in construction: scientific online magazine», link – http://nanobuild.ru/en_EN/archieve-of-issues/;
 - in the full-text database of open-access scientific journals Open Academic Journals Index (OAJI), link – <http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931>;

- on the website of the scientific electronic library, link – <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760>;
- in the database of scientific journals Directory of Open Access Journals (DOAJ), link – <https://doaj.org/>, next – the journal is searched «Nanotekhnologii v Stroitel'stve»;
- in the database of scientific journals ResearchBib, link – <http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545>;
- on the Internet resource of scientists of all scientific disciplines ResearchGate, link – https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- in the international scientific base Readera – <https://readera.ru/nanobuild>;
- in other citation systems (databases).

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

CONCLUSIONS

In this paper, we use bibliometric analysis to review the literatures related to nanotechnology-construction recorded in the WOS database from 2000 to 2020 (the statistics in 2020 are not complete yet). Moreover, this paper visualized the literature characteristics of these studies from four aspects: annual change, hot topics, distribution countries and keywords, in order to fully understand the development status and future trend of nanotechnology-construction research. The main findings of this paper are as follows:

Globally, the number of literatures on nanotechnology construction research has been on the rise in 2000–2019, although it has experienced a small decline in individu-

alyears. It is concluded that with the extensive attention of researchers, the future research on nanotechnology-construction will continue to emerge and accelerate the growth. Besides, existing nanotechnology-construction research mainly focuses on the fields of chemistry and materials science. It shows that the application of nanotechnology to improve the traditional building materials is still the main application of nanotechnology in the construction industry. The results of co-citation analysis indicate that the high-yield authors of nanotechnology-construction research focus on the field of biological molecular biology. At the national level, the United States has become the global leader in nanotechnology-construction research with 63 articles, far more than other countries. Considering the income gap, developed countries play an indispensable role in the global nanotechnology construction research system, while the role of underdeveloped countries or regions is relatively weak. According to the frequency of keywords, we found that the existing nanotechnology-construction research is mainly concentrated on the development and application of new building materials.

To sum up, the application of nanotechnology in the construction industry has gone through the stage of theoretical exploration and gradually turned to practical application. In this context, the future global nanotechnology-construction research will accelerate and continue to expand the application scope of nanotechnology in building materials. Developed countries play an important role in the global nanotechnology-construction research system. As the fastest growing economy in the world, China ranks the second in the world in nanotechnology-construction research. It suggests that developing countries are also striving to accelerate the deep integration of nanotechnology and construction industry.

REFERENCES

1. Lazaro A., Yu Q.L., Brouwers H.J.H. 4 – Nanotechnologies for sustainable construction. Sustainability of Construction Materials (Second Edition). Woodhead Publishing; 2016.
2. Jones W., et al. Nanomaterials in construction – what is being used, and where? In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials. 2019;172 (2): p. 49–62. Available from: [doi: 10.1680/jcoma.16.00011](https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00011).
3. Al-Bayati Ahmed, J. and A. Al-Zubaidi Hazim. Inventory of Nanomaterials in Construction Products for Safety and Health. Journal of Construction Engineering and Management. 2018; 144(9). Available from: [doi:10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001547](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001547).
4. Zhu W., et al. Functionalization of hollow nanomaterials for catalytic applications: nanoreactor construction. Advanced Materials. 2019; 31(38): 1800426. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.201800426> [Accessed 14th August 2020]
5. Contreras J.E., Rodriguez E.A., and Taha-Tijerina J. Nanotechnology applications for electrical transformers – A review. Electric Power Systems Research. 2017; 143:573–584. Available from: [doi: 10.1016/j.epsr.2016.10.058](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.058).
6. West G.H., et al. Toward responsible development and effective risk management of nano-enabled products in the U.S. construction industry. Journal of Nanoparticle Research. 2016;18 (2): 49. Available from: [doi: 10.1007/s11051-016-3352-y](https://doi.org/10.1007/s11051-016-3352-y).

7. Mongeon P., Paul-Hus A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*. 2016;106(1):213–228. Available from: [doi: 10.1007/s11192-015-1765-5](https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5).
8. Yang D., et al. History and trends in solar irradiance and PV power forecasting: A preliminary assessment and review using text mining. *Solar Energy*. 2018;168:60–101. Available from: [doi: 10.1016/j.solener.2017.11.023](https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.023).
9. Wang J., VeugelersR., StephanP. Bias against novelty in science: A cautionary tale for users of bibliometric indicators. *Research Policy*. 2017;46(8):1416–1436. Available from: [doi:10.1016/j.respol.2017.06.006](https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.06.006).
10. Laengle S., et al. Forty years of the European Journal of Operational Research: A bibliometric overview. *European Journal of Operational Research*. 2017; 262(3):803–816. Available from: [doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.027](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.027).
11. Geng S., et al. Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;76:176–184. Available from: [doi: 10.1016/j.rser.2017.03.068](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068).
12. Zheng L., Xiong T., Shah K.W. Transparent nanomaterial-based solar cool coatings: Synthesis, morphologies and applications. *Solar Energy*. 2019;193:837–858. Available from: [doi: 10.1016/j.solener.2019.10.029](https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.029).
13. Dahlan A.S. Smart and Functional Materials Based Nanomaterials in Construction Styles in Nano-Architecture. *Silicon*. 2019;11(4):1949–1953. Available from: [doi: 10.1007/s12633-018-0015-x](https://doi.org/10.1007/s12633-018-0015-x).
14. Wu Z., et al. Effects of different nanomaterials on hardening and performance of ultra-high strength concrete (UHSC). *Cement and Concrete Composites*. 2016;70:24–34. Available from: [doi: 10.1016/j.cemconcomp.2016.03.003](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.003).
15. Diab A.M., et al. Effect of nanomaterials additives on performance of concrete resistance against magnesium sulfate and acids. *Construction and Building Materials*. 2019;210: 210–231. Available from: [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.099](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.099).
16. Bossa N., et al. Environmental exposure to TiO₂ nanomaterials incorporated in building material. *Environmental Pollution*. 2017; 220: 1160–1170. Available from: [doi: 10.1016/j.envpol.2016.11.019](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.019).
17. Sierra-Fernandez A., et al. New nanomaterials for applications in conservation and restoration of stony materials: A review. *Materiales de Construcción*. 2017; 67(325): 107.
18. 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).
19. 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).
20. Ivanov L.A., Kapustin I.A., Borisova O.N., Pisarenko Zh.V. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(2): 71–76. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76).
21. Ivanov L.A., Demenev A.V., Pisarenko Zh.V., Wang Q. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part III. *Nanotechnologies in Construction*. 2020;12(3): 140–146. Available from: [doi: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhanna V. Pisarenko, Doctor of Economics, Assistant Professor, Saint-Petersburg State University, Economic Faculty, Department of Risk Management and Insurance, University emb., 7/9, St., Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation, e-mail: z.pisarenko@spbu.ru

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

Qiang Wang, Doctor of Environmental Science, Professor, China University of Petroleum, Management Faculty, Department of Management Science, Qingdao, Shandong, 266580, People's Republic of China, e-mail: wangqiang7@upc.edu.cn

Authors declare the absence of any competing interests.

Received: 02.07.2020.

Revised: 30.07.2020.

Accepted: 04.08.2020.



Нанотехнологии в строительстве: современное состояние и тенденции развития

Ж.В. Писаренко¹ , Л.А. Иванов² , Ц. Ванг^{3*}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

² Российская инженерная академия, г. Москва, Россия

³ Китайский нефтяной университет, г. Циндао, Китай

*Контакты: e-mail:wangqiang7@upc.edu.cn

РЕЗЮМЕ: Строительная отрасль является сравнительно энергоемкой и зачастую сам процесс строительства характеризуется высоким уровнем загрязнения. Появление нанотехнологий и их применение может обеспечить идеальное решение для строительной отрасли в области энергосбережения и снижения энергопотребления. Использование нанотехнологий также позволит внедрять новые экологически чистые строительные материалы с уникальными свойствами и способствовать большим экономическим выгодам и общественной пользе. В данной статье проведен библиометрический анализ и обзор исследований в области нанотехнологий в строительстве, индексируемых в международной базе данных Web of Science за период с 2000 по 2020 гг. На глобальном уровне количество публикаций по данной теме в 2000–2019 гг. росло, хотя в отдельные годы публикационная активность несколько снижалась. На страновом уровне мировым лидером в области исследований по применению нанотехнологий в строительстве являются США, с 63 публикациями, что намного больше, чем в других странах. Учитывая разрыв в доходах, развитые страны играют ведущую роль в глобальной данной системе исследований, в то время как роль развивающихся стран относительно не велика. Мы обнаружили, что существующие публикации по применению нанотехнологий в строительстве в основном сосредоточены на областях химии и материаловедения. На основе частоты использования ключевых слов сделан вывод, что исследовательская направленность в этой области сфокусирована, прежде всего, на разработке и применении новых строительных материалов. Делается вывод, что при пристальном внимании академических кругов к данной теме количество публикаций в области применения нанотехнологий в строительстве будет увеличиваться с нарастающей скоростью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: исследования в области нанотехнологий в строительстве, библиометрия, анализ совместного цитирования, маппинг предметной области.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lazaro A., Yu Q.L., and Brouwers H.J.H. 4 – Nanotechnologies for sustainable construction, in Sustainability of Construction Materials (Second Edition), J.M. Khatib, Editor. 2016, Woodhead Publishing. P. 55–78.
2. Jones W., et al. Nanomaterials in construction – what is being used, and where? Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials. 2019, Vol. 172, no. 2, pp. 49–62. [10.1680/jcoma.16.00011](https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00011).
3. Al-Bayati Ahmed J. and Al-Zubaidi Hazim A. Inventory of Nanomaterials in Construction Products for Safety and Health. Journal of Construction Engineering and Management. 2018, Vol. 144, no. 9, pp. [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001547](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001547).
4. Zhu W., et al. Functionalization of hollow nanomaterials for catalytic applications: nanoreactor construction. Advanced Materials. 2019; 31(38): 1800426. <https://doi.org/10.1002/adma.201800426>.

© Писаренко Ж.В., Иванов Л.А., Ванг Ц., 2020

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

5. Contreras, J.E., E.A. Rodriguez, and J. Taha-Tijerina. Nanotechnology applications for electrical transformers – A review. *Electric Power Systems Research*. 2017, Vol. 143, pp. 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.058>.
6. West, G.H., et al. Toward responsible development and effective risk management of nano-enabled products in the U.S. construction industry. *Journal of Nanoparticle Research*. 2016, Vol. 18, no. 2, pp. 49. [10.1007/s11051-016-3352-y](https://doi.org/10.1007/s11051-016-3352-y).
7. Mongeon, P. and A. Paul-Hus. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*. 2016, Vol. 106, no. 1, pp. 213–228. [10.1007/s11192-015-1765-5](https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5).
8. Yang, D., et al. History and trends in solar irradiance and PV power forecasting: A preliminary assessment and review using text mining. *Solar Energy*. 2018, Vol. 168, pp. 60–101. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.023>.
9. Wang, J., R. Veugelers, and P. Stephan. Bias against novelty in science: A cautionary tale for users of bibliometric indicators. *Research Policy*. 2017, Vol. 46, no. 8, pp. 1416–1436. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.06.006>.
10. Laengle, S., et al. Forty years of the European Journal of Operational Research: A bibliometric overview. *European Journal of Operational Research*. 2017, Vol. 262, no. 3, pp. 803–816. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.027>.
11. Geng, S., et al. Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, Vol. 76, pp. 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>.
12. Zheng, L., T. Xiong, and K.W. Shah. Transparent nanomaterial-based solar cool coatings: Synthesis, morphologies and applications. *Solar Energy*. 2019, Vol. 193, pp. 837–858. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.029>.
13. Dahlan, A.S. Smart and Functional Materials Based Nanomaterials in Construction Styles in Nano-Architecture. *Silicon*. 2019, Vol. 11, no. 4, pp. 1949–1953. [10.1007/s12633-018-0015-x](https://doi.org/10.1007/s12633-018-0015-x).
14. Wu, Z., et al. Effects of different nanomaterials on hardening and performance of ultra-high strength concrete (UHSC). *Cement and Concrete Composites*. 2016, Vol. 70, pp. 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.003>.
15. Diab, A.M., et al. Effect of nanomaterials additives on performance of concrete resistance against magnesium sulfate and acids. *Construction and Building Materials*. 2019, Vol. 210, pp. 210–231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.099>.
16. Bossa, N., et al. Environmental exposure to TiO₂ nanomaterials incorporated in building material. *Environmental Pollution*. 2017, Vol. 220, pp. 1160–1170. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.019>.
17. Sierra-Fernandez, A., et al. New nanomaterials for applications in conservation and restoration of stony materials: A review. *Materiales de Construcción*. 2017, Vol. 67, no. 325, pp. 107.
18. 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).
19. 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).
20. Иванов Л.А., Капустин И.А., Борисова О.Н., Писаренко Ж.В. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 2. – С. 71–76. – DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76).
21. Иванов Л.А., Деменев А.В., Писаренко Ж.В., Ванг Ц. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 140–146. – DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Писаренко Жанна Викторовна, доктор экономических наук, доцент кафедры управления рисками и страхования экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Университетская наб., д. 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034, e-mail: z.pisarenko@spbu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

Иванов Леонид Алексеевич, вице-президент Российской инженерной академии, член Международной федерации журналистов; Газетный пер., д. 9, стр. 4, г. Москва, Россия, 125009, e-mail: L.a.ivanov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9513-8712>

Ванг Цян, доктор естественных наук, профессор Китайского нефтяного университета, факультета менеджмента, Циндао, Шандун, 266580, Китайская народная республика, e-mail: wangqiang7@upc.edu.cn, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8751-8093>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 02.07.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 30.07.2020.

Статья принята к публикации: 04.08.2020.

PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Complaints and appeals handling

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

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

Policy of disclosure and conflicts of interest /competing interests

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

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

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

The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility

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

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

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

Ethical oversight of the published materials

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

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

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

Derivation and plagiarism

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

Intellectual property

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

The editors aside from using plagiarism detecting tools can also:

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

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

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

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

Preprint and postprint policy

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

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

On the procedure in case of abusive practice (infringement)

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

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

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



ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ ПРАКТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

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

Ответственность авторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность редакторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность рецензентов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственность издателя журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

2. Издатель не влияет на редакционную политику журнала.

3. Издатель оказывает юридическую поддержку редакции журнала при необходимости.

4. Издатель обеспечивает своевременность выхода очередных выпусков журнала.

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

Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

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

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

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

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

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

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

Обработка жалоб и апелляций

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

Политика раскрытия и конфликты интересов/конкурирующих интересов

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

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

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

Политики журнала в отношении обмена данными и воспроизведимости

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

Политика журнала в отношении обмена данными и воспроизведимости в конечном итоге способствует более «открытой» науке, а открытость научной информации есть гарант исследований и инноваций высокого качества.

Этический надзор за опубликованными материалами

Издатель и главный редактор должны работать над защитой репутации опубликованных материалов путем изучения и оценки заявленных или предполагаемых нарушений (исследований, публикаций, рецензий и редакторской деятельности) совместно с научным сообществом.

Это включает в себя взаимодействие с автором рукописи или тщательное рассмотрение соответствующей жалобы или высказанных претензий. Для выявления таких нарушений, как плагиат, редактор должен пользоваться соответствующими лицензионными системами.

Главный редактор, получивший убедительное свидетельство нарушения, должен сообщить об этом издателю, членам редакколлегии, организуя немедленное уведомление автора о необходимости внесения поправок или отзыва публикации, в зависимости от ситуации.

Замещивания и плагиат

Редакция журнала «Нанотехнологии в строительстве» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы [Антиплагиат](#). В случае обнаружения многочисленных замещений редакция действует в соответствии с правилами [COPE](#).

Интеллектуальная собственность

Редакторы должны внимательно относиться к вопросам, касающимся интеллектуальной собственности, и взаимодействовать с издателем при урегулировании случаев возможных нарушений законов и соглашений об охране интеллектуальной собственности.

Редакторы, кроме применения инструментов обнаружения плагиата, могут также:

- поддерживать авторов, чье авторское право было нарушено, или тех, кто стал жертвой плагиата;
- быть готовыми к совместной работе с издателем по защите авторских прав и к преследованию нарушителей (например, путем подачи запросов для отзыва статей или удаления материалов с веб-сайтов).

Обсуждение работ, опубликованных в журнале. Исправления после публикаций

Редакторы должны быть открытыми для исследований, которые оспаривают предыдущие работы, опубликованные в журнале; поощрять и с готовностью рассматривать обоснованную критику работ, публикуемых в их журнале.

Авторы критикуемых материалов должны иметь возможность ответить на критику. Работы, сообщающие только об отрицательных результатах, также могут публиковаться.

Политика размещения препринтов и постпринтов

В процессе подачи статьи автору необходимо подтвердить, что статья не была опубликована или не была принята к публикации в другом научном журнале. При ссылке на опубликованную в журнале «Нанотехнологии в строительстве» статью издательство просит размещать ссылку (полный URL материала) на официальный сайт журнала.

К рассмотрению допускаются статьи, размещенные ранее авторами на личных или публичных сайтах, не относящихся к другим издательствам.

О процедурах в случае злоупотреблений (нарушений)

Издатель, главный редактор, каждый сотрудник редакции, член редакционной коллегии, автор, рецензент и читатель обязаны соблюдать этику научных публикаций в журнале действующих законов, правил или положений и обязуются сообщать о любых известных у случаях уже совершенного или потенциального злоупотребления (нарушения).

Редакцией журнала незамедлительно проводится расследование по всем сообщениям о злоупотреблениях (нарушениях) и, если информация подтверждается, принимаются меры по устраниению злоупотреблений (нарушений). Если это требуется в соответствии с законодательством, материалы передаются в соответствующие государственные органы.

На все претензии авторов редакция предоставляет развернутые и обоснованные ответы, прилагая все усилия для разрешения конфликтных ситуаций.



AUTHOR GUIDELINES

Admission of articles

The authors submit to the editors:

- electronic manuscript by e-mail: info@nanobuild.ru;
- accompanying letter (the editors send the sample of the letter to the authors on demand).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution»; agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), citation systems (data bases). All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here <http://creativecommons.ru/>.

When submitting articles to the journal, it is presumed that:

- the work has not been previously published in any other journal;
- the article is not under consideration in any other journal;
- all co-authors consent to the publication of the article;
- there is implicit or explicit consent of the organization in which the study was conducted.

Information about the conflict of interest

The article should include any actual or potential conflict of interest. If there is no conflict of interest, you should write that «the author declares no conflict of interest.»

When submitting a manuscript to the journal, authors should ensure that the content of the paper corresponds the topic of the journal; the structure and the format of the paper meet the editorial requirements; all citations are properly formatted and the source of tables and figures are shown (unless otherwise indicated, it is assumed that the tables and figures created by the author).

Basic the sections of the journal:

- construction material science;
- the study of the properties of nanomaterials;
- the results of the specialists' and scientists' researches;
- manufacturing technology for building materials and products;
- international scientific and technical cooperation;
- overview of inventions in the field of nanotechnology;
- development of new materials;
- rational use of natural sources;
- efficient use of recycled resources;
- the application of nanotechnology and nanomaterials;
- system solutions for technological problems;
- in related sectors;
- forums, exhibitions, conferences and events in the area of construction and nanoindustry.

These are the topics of the papers published in the journal: creation of new functional materials; nanostructured systems strength and penetrability formation theory development; the problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials; cement and other binders with mineral and organic additives; diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials; modification of building materials with nanofibers; disperse composite materials with nanocoating; formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering; technologies aimed at studying nanomaterial properties; the systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies; technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis). The topics may be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

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

The structure of the paper

Article type (In English)

Title (In English)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In English) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows

Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In English)

KEYWORDS: (In English)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In English)

FOR CITATION: (In English)

Text of the paper: (In English, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In English)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In English)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Article type (In Russian)

Title (In Russian)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country (In Russian) (it is necessary to link author's profile on ORCID website orcid.org)

***Corresponding author:** e-mail:

ABSTRACT: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, novelty, contain main results of research, structured according to IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), compact – 200–250 words) (In Russian)

KEYWORDS: (In Russian)

ACKNOWLEDGMENTS: (if available) (In Russian)

FOR CITATION: (In Russian)

Text of the paper: (In Russian, number of words 3000–6000)

- **INTRODUCTION**
- **METHODS AND MATERIALS**
- **RESULTS**
- **DISCUSSION**
- **CONCLUSIONS**

REFERENCES (In Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR(S) (In Russian)

Name, patronymic name (if available), last name, academic degree, academic status, position, employment, city, country, e-mail

All authors declare the absence of any competing interests.

Manuscript text

File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in either the .doc or .docx format. If you are using Word 2007, save the file only in the .doc format.

Text layout

- Use the font Times New Roman, font size – 14 pt., and 1.5 line spacing;
- Do not use an underscore in the text (for subtitles – use bold, to highlight text – use italics);
- Non-Russian languages titles (journals, organizations, etc.) should be left in the original, enclosed in quotes.

Abbreviations

All abbreviations should be defined when first used. If the article contains a large number of abbreviations, a list deciphering each of them can be included before the text of the article

Tables and Figures

All tables and figures must be numbered and identified, they should be a reference in the text. The tables should not contain empty columns. Figures should be of good quality, suitable for printing. Figures should be submitted together with the article, with each figure submitted as an individual file.

One way to check the quality of the image, is to increase its size using any image manipulation software. A high quality image is not blurred or distorted when enlarged.

Footnotes

If necessary, use footnotes with continuous numbering (Arabic numerals) throughout the document. Footnotes can be quotes from the works mentioned in the text, for more information.

Citations and bibliography

The journal requires the use of the Vancouver citation style (a reference in the text in square brackets, full bibliographic description of the source in the bibliography in the order mentioned in the text of the article).

References

The list of references includes sources used in the text.

References accepted for publication but not yet published articles must be labeled with the words "in press"; authors should obtain written permission to refer to these documents and evidence that they are accepted for publication. Information from unpublished sources must be marked with the words "unpublished data / documents," the authors must also receive written confirmation of the use of such materials.

References to non-Russian language articles:

Surname Initials, Surname Initials Article title. Name of journal. Year, Volume (Number): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Example: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

References to non-Russian language monographs:

With 1–3 authors:

Surname initials, Surname initials. Book title. Number of reprinting. City: Publisher; The year of publishing.

Indication to the editor or compiler:

Surname initials. Surname initials, Surname initials, editors. Title. Number of reprinting. City: Publisher; Year of publishing.

Example: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Journal title and the title of monographs and collections are written in italics. After the initials a period (.) is used. Between the author's name and initials no comma is used.

Reference to Russian language sources:

Example: Lindorf L.S., Mamikonians L.G. Operation of turbine-generator with direct cooling. Moscow: Energia; 1972. (In Russ.)

References to internet sources:

The name of the material on the site [site]. Name of the site; year [updated: date of update; date of citation]. Available: link to the site.

Note: preferably indicate a link to the material from the site, which is mentioned in the article. A link to your homepage is not informative and does not allow for verification of the information.

Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

1. Authors retain copyright of the work and provide the journal right of first publication of the work.
2. The authors retain the right to enter into certain contractual agreements relating to the non-exclusive distribution in the published version of the work here form (eg, post it to an institutional repository, the publication of the book), with reference to its original publication in this journal.
3. The authors have the right to post their work on the Internet (eg in the institute store or personal website) prior to and during the review process of its data log, as this may lead to a productive discussion and a large number of references to this work.

Privacy Statement

Specified when registering the names and addresses will be used solely for technical purposes of a contact with the Author or reviewers (editors) when preparing the article for publication. Private data will not be shared with other individuals and organizations.



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Прием статей

Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде по e-mail: info@nanobuild.ru;
- сопроводительное письмо (редакция высылает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»); согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), в системах цитирования (базах данных). Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Представление статьи в журнал подразумевает, что:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие – неявное или явное – организации, в которой исследование было проведено.

Информация о конфликте интересов

В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что содержание статьи соответствует тематике журнала; структура статьи и оформление соответствуют требованиям редакции; все цитирования оформлены корректно, указаны источники для таблиц и рисунков (если не указано иное, предполагается, что таблицы и рисунки созданы автором).

Основные разделы журнала:

- строительное материаловедение;
- исследование свойств наноматериалов;
- результаты исследований ученых и специалистов;
- технологии производства строительных материалов и изделий;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- обзор изобретений в области наноиндустрии
- разработка новых материалов;
- рациональное использование природных ресурсов;
- эффективное использование вторичного сырья;
- применение нанотехнологий и наноматериалов;
- системные решения технологических проблем;
- в смежных отраслях;
- форумы, выставки, конференции, мероприятия строительной отрасли и наноиндустрии.

В журнале публикуются работы по следующим темам: создание новых функциональных материалов; разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем; проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах; цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками; диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем; технологии исследования свойств наноматериалов; модифицирование строительных материалов нановолокнами; дисперсные композиционные материалы с нанопокрытием; формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением; системы преподавания основ нанотехнологий; технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.). Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

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

Структура статьи

Тип статьи (на английском языке)

Заглавие (на английском языке)

Автор(ы) (на английском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (Introduction, Methods and Materials, Results and Discussion), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на английском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на английском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на английском языке)

Статья (на английском языке, объем – 3–6 тыс. слов):

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**
- **РЕЗУЛЬТАТЫ**
- **ОБСУЖДЕНИЕ**
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на английском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на английском языке)

Имя, отчество (при наличии), фамилия, ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УДК

Тип статьи (на русском языке)

Заглавие (на русском языке)

Автор(ы) (на русском языке): обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке) (необходимо указывать ORCID авторов – зеленый значок рядом с фамилией с указанной под ним гиперссылкой на страницу ORCID на orcid.org)

***Контакты:** e-mail:

РЕЗЮМЕ: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать новизну, основные результаты исследований, структурированными по IMRAD (введение, методы и материалы, результаты, обсуждение, заключение (выводы)), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: (на русском языке)

БЛАГОДАРНОСТИ: (при наличии) (на русском языке)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: (на русском языке)

Статья (на русском языке, объем – 3–6 тыс. слов)

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

- РЕЗУЛЬТАТЫ
- ОБСУЖДЕНИЕ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: (на русском языке)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ): (на русском языке)

Фамилия, имя, отчество (при наличии), ученая степень, ученое звание, должность, место работы, город, страна, e-mail

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Оформление текста рукописи

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .doc или .docx. Если вы работаете с Word 2007, сохраняйте файл только в формате .doc.

Оформление

- используйте шрифт 14 Times New Roman и интервал 1,5 строки;
- не используйте подчеркивание внутри текста (для подзаголовков используйте полужирное начертание, для выделения в тексте – курсив);
- иностранные названия (журналов, организаций и т.д.) следует оставлять в оригинале, заключать в кавычки.

Аббревиатуры

Все аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если аббревиатур много, можно сделать список с расшифровкой каждой из них перед текстом статьи.

Таблицы и рисунки

Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и названы, на них должна быть ссылка в тексте статьи. В таблицах не должно быть пустых граф. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Прикладываются к статье отдельными файлами.

Чтобы проверить качество изображения, можно увеличить его. Хорошее изображение не размывается при увеличении.

Сноски

При необходимости используются сноски со сквозной нумерацией (арабские цифры) по всему документу. В сносках могут быть цитаты из работ, которые упоминаются в тексте, дополнительная информация.

Оформление цитат и списка литературы

В журнале принят Ванкуверский стиль цитирования (ссылка в тексте в квадратных скобках, полное библиографическое описание источника в списке литературы в порядке упоминания в тексте статьи).

Список литературы

В список литературы включаются источники, используемые в тексте статьи. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

Ссылки на статьи из иностранных источников:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи. Название журнала. Год; Том (Номер): 00-00. DOI: 10.13655/1.6.1234567.

Пример: Bokova E.S., Kovalenko G.M. Electrospinning of Fibres Using Mixed Compositions Based on Polyetherurethane and Hydrophylic Polymers for the Production of Membrane Materials. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2020; 4(142): 49-51. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0933

Ссылки на монографии на иностранном языке:

С 1–3 авторами:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название книги. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Указание на редактора или составителя:

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О., ³Фамилия И.О., редакторы. Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Пример: Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill; 2006.

Harris B. Fatigue in composites. England: Woodhead Publish Lmt.; 2003.

Глава из монографии или сборника:

¹Фамилия И.О. ¹Название. В: ²Фамилия И.О., редактор. ²Название. Номер переиздания. Город: Издательство; Год издания.

Название журнала и название монографий и сборников выделяется курсивом, после инициалов ставятся точки. Между фамилией автора и инициалами запятая не ставится.

Ссылки на статьи на русском языке

¹Фамилия И.О., ²Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. – Год. – Том (Номер):00-00. [¹Familia I.O., ²Familia I.O. Перевод названия статьи. Транслит названия журнала/Официальное название на английском языке. Год; Том (Номер):00-00. (In Russ.)]]

Пример: Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – 9 (1): 88–106. – DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.

[Ivanov L.A., Muminova S.R. Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1. Nanotechnologies in Construction. 2017; 9 (1): 88–106. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106. (In Russian)]

Ссылки на монографии на русском языке:

¹Фамилия И.О. Название монографии. – Город: Издательство, год. – 000 с. [¹Familia I.O. Перевод названия монографии. Gorod: Izdatelstvo; god. (In Russ.)]

Пример: Линдорф Л.С., Мамиконянц Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – М.: Энергия, 1972. – 352с.

Ссылки на интернет-ресурсы:

Название сайта [Электронный ресурс] – URL. – (дата обращения).

Примечание: предпочтительно указывать ссылку на материал с сайта, который упоминается в статье. Ссылка на главную страницу не информативна и не дает возможность проверить информацию.

Авторские права

Авторы, публикующие в журнале, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.

2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договорённости, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.

3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и большему количеству ссылок на данную работу.

Приватность

Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных этим журналом, и не будут использованы для каких-либо других целей или представлены другим лицам и организациям.