

IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- NIntegral quality indicators of waste concrete for reuse
 - Application of nanomaterials and nanotechnologies in construction
 - Arrangement of chemical elements in the three-dimensional matrix
 - Obtaining the retainer for waterproofing road bitumens
-
- Интегральные показатели качества отработанного бетона для вторичного использования
 - Применение наноматериалов и нанотехнологий в строительстве
 - Структурирование химических элементов по объемной матрице
 - Получение закрепителя для гидроизоляционных дорожных битумов

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

ISSN 2075-8545 (online)

NANOTEKHNOLOGII V STROITEL'STVE

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

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

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

The main tasks:

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

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

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

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

The language of publication: English; Russian.

The edition's readers and authors are:

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

EDITORS

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF FOR FOREIGN RELATIONS – Svetlana R. MUMINOVA, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Center for New Technologies «NanoStroitelstvo», Moscow, Russian Federation

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Pawel SIKORA, Ph.D., Associate Professor, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Department of General Civil Engineering, Szczecin, Poland

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

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

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

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

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

Founder and Publisher – Center for New Technologies «Nanostroitel'stvo», Korolev, Moscow region, Russian Federation

Contacts: e-mail: l.a.ivanov@mail.ru

Address of edition: Russian Federation, 125009, Moscow, Gazetny per., bld. 9, str. 4

Contacts: e-mail: info@nanobuild.ru

Website: http://nanobuild.ru/

Release date of № 5 (Vol. 13) is 20.10.2021

ISSUED WITH SUPPORT OF



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING



**INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING**



**WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)**

CONTENTS

PUBLISHER INFORMATION	273
MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
<i>Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Drozdnyuk T.A., Frolova M.A., Garamov G.A.</i>	
Integral quality indicators of waste concrete for reuse	276
THE RESULTS OF THE SPECIALISTS' AND SCIENTISTS' RESEARCHES	
<i>Gusev B.V., Yin S.Y-L., Speransky A.A.</i>	
Arrangement of chemical elements in the three-dimensional matrix	282
CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE	
<i>Maher El-Tair A., El-Feky M.S., Mohsen Alaa, Kohail M.</i>	
Properties of nano engineered concrete subjected to accelerated corrosion	293
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION	
Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities	306
REVIEW OF NANOTECHNOLOGICAL INVENTIONS	
<i>Ivanov L.A., Xu L.D., Razumeev K.E., Feoktistova V.M., Prokopiev P.S.</i>	
Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies.	
Part V	311
APPLICATION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION	
<i>Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K.</i>	
Obtaining the retainer for waterproofing road bitumens.....	319
PUBLISHING ETHICS	328
AUTHOR GUIDELINES.....	332

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

ISSN 2075-8545 (online)

«Нанотехнологии в строительстве» – рецензируемый научный журнал.

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

Основные задачи:

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

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

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

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

Язык издания: русский; английский.

Авторами и читателями издания являются:

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

РЕДАКЦИЯ

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СИКОРА Павел, доктор наук, Западно-Поморский технологический университет, факультет гражданского и экологического строительства, факультет общего гражданского строительства, г. Щецин, Польша

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

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

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

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

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

Учредитель и издатель – ООО «Центр Новых Технологий «Наностроительство», г. Королев, Московская область, Российская Федерация

Контакты: e-mail: l.a.ivanov@mail.ru

Адрес редакции: Российская Федерация, 125009, г. Москва, Газетный пер., дом 9, стр. 4

Контакты: e-mail: info@nanobuild.ru; **Сайт:** http://nanobuild.ru/

Дата выхода в свет № 5, Том 13, 2021: 20.10.2021 г.

ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ	273
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	
<i>Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Дроздюк Т.А., Фролова М.А., Гарамов Г.А.</i>	
Интегральные показатели качества отработанного бетона для вторичного использования	276
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ	
<i>Гусев Б.В., Ин С.И-Л., Сперанский А.А.</i>	
Структурирование химических элементов по объемной матрице	282
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
<i>Махер Эль-Таир А., Эль-Феки М.С., Мохсен Алаа, Кохаиль М.</i>	
Свойства нанобетона, подверженного ускоренной коррозии	293
МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов.....	306
ОБЗОР ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Разумеев К.Э., Феоктистова В.М., Прокопьев П.С.</i>	
Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий.	
Часть V	311
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
<i>Боев Е.В., Исламутдинова А.А., Аминова Э.К.</i>	
Получение закрепителя для гидроизоляционных дорожных битумов.....	319
ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА	328
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	332

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-276-281>



Integral quality indicators of waste concrete for reuse

Arkady M. Ayzenshtadt , Victor E. Danilov , Tatiana A. Drozdyuk* , Maria A. Frolova ,
Georgiy A. Garamov

Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

* Corresponding author: e-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

ABSTRACT: Introduction. Waste concrete is one of the main heavy construction waste having good recycling prospects with regard to rational nature management related to reducing the consumption of natural resources. However, the widespread introduction of waste concrete is hindered on the one hand by the variety of compositions and structures of recycled scrap, and on the other hand by the lack of quantitative criteria to choose the most rational area of its use (a binder component, coarse and fine aggregate, finely dispersed filler, etc.). **Materials and methods.** Case studies of experimental powders obtained by mechanical grinding from the concrete scrap of internal wall panels and floor slabs (heavy concrete) and external wall panels (light concrete) of a five-storey residential panel house built in 1979 in the Obozersky village, Arkhangelsk region, demonstrated the possibility of choosing the optimal secondary use of waste concrete fractions featuring residual compressive strength. The indicators of residual strength, grindability and contraction of mineral powders were used as optimization criteria. **Results and discussions.** The applicability of the mathematical model for calculating the raw material grindability index is shown. A criterion for grinding equipment selection is proposed to obtain powders with an extended active surface. **Conclusions.** Powders obtained from the fraction of waste light concrete featuring low strength properties and grindability by mechanical grinding to a specific surface area comparable to that of Portland cement used and having a higher value of contraction can be rationally used as a composite binder component. Concrete scrap fractions featuring by higher grindability and strength properties are optimally suited for crushed aggregate preparation in the concrete composite production process.

KEY WORDS: concrete scrap, recycled concrete, grindability criterion, composite binder, mineral powder contraction.

ACKNOWLEDGMENTS: The research was carried out on the unique scientific equipment “Physical Chemistry of Surfaces of Nano-Dispersed Systems” with the financial support from Kolarctic project no. KO4068 “DeConcrete: Eco-efficient Arctic Technologies Cooperation”.

FOR CITATION: Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Drozdyuk T.A., Frolova M.A., Garamov G.A. Integral quality indicators of waste concrete for reuse. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5): 276–281. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-276-281>.

INTRODUCTION

Besides addressing the problems related to heavy construction waste disposal, concrete scrap application in the production is also one of the promising areas of rational environmental management related to reducing the consumption of natural mineral resources. Thus, the use of secondary resources in this particular case has two important aspects: economic and environmental. However, the widespread introduction of used concrete is hindered on the one hand by the variety of compositions and structure of recycled scrap, and on the other hand

by the lack of quantitative criteria to choose the most rational area of its use (binder component, coarse and fine aggregate, finely dispersed filler, etc.). Currently, there are various approaches to recommendations for recycled concrete application that are predominantly associated with its use as a coarse aggregate [1, 2]. However, using recycled concrete only as aggregates cannot be considered an optimal way to address the issue of recycling these materials. It is known that the concrete matrix contains unhydrated clinker particles that can form a new curing structure during grinding and subsequent hydration [3–6]. The unhydrated clinker part volume can reach

© Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Drozdyuk T.A., Frolova M.A., Garamov G.A., 2021

20% [7, 8]. Thus, studies show that complete hydration is observed for $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) tricalcium aluminate by the 28th day of concrete curing under normal humidity and temperature conditions. $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) tricalcium silicate is hydrated by 70–75%, and $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) bicalcium silicate is hydrated by 50–75%. Thus, C_3S and C_2S particles remain unhydrated in the cement stone structure in concrete products. Therefore, concrete scrap from demolished buildings and structures, as a rule, contains clinker minerals capable of further hardening. Finely dispersed powder of recycled concrete with a significant residual content of unhydrated calcium silicates can be an active component in binding compositions. Based on the above, methods for evaluating the powder ability to form hydrosilicates of additional generation in a reaction with water can be used to predict the rational use of concrete scrap as a coarse (or fine) aggregate or component in binding compositions. Such methods include e.g. reducing the volume of the mixture (powder/water) due to hydration (contraction) [9–14]. This is due to the fact that the volume of cement stone newgrowths is less than the volume occupied by substances undergoing the hydration reaction (shrinkage develops intensively during the chemical reaction). Additional parameters that determine the rational use of waste concrete can be e.g. the grindability of samples and their residual compressive strength. The authors of the paper [15] proposed a quantitative grindability criterion – grindability index (GI) calculated by the expression:

$$\text{GI} = (S_{\text{spec2}} - S_{\text{spec1}}) / \Delta\tau, \quad (1)$$

where S_{spec1} and S_{spec2} are specific surface areas of powders before and after mechanical grinding during the time $\Delta\tau$. In addition, the shape of particles obtained when grinding is no less important for obtaining an active (capable of chemical transformation) powder. Dispersed systems where particles feature by spherical symmetry form a less active surface than corner-shaped particles.

At the same time, it is necessary to take into account the fact of the relationship between the main dispersed properties of powders: particle size and specific surface area. So, if the particles have a near-spherical shape and exhibit the properties of elastic bodies, the ratio [16, 17] is valid:

$$d = 6 / (\rho_{\text{true}} \cdot S_{\text{spec}}), \quad (2)$$

where d is the average linear particle size; ρ_{true} is the true specific density of powder, kg/m^3 . Thus, the greater the difference between the calculated value of d according to expression (2) and the similar dimensional characteristic experimentally determined by modern methods (e.g. photon correlation spectroscopy), the higher the potential reactivity of the particle (or entire powder system). This criterion can be used when choosing the most optimal grinding machine.

The objectives of these studies are to: assess the contraction value of concrete scrap powders of different initial strength (light and heavy concrete) obtained from fragments of demolished buildings operated for more than 50 years; experimentally check the possibility of using highly dispersed powders as a component in composite binders (CB); reuse samples of waste concrete as an aggregate.

MATERIALS AND METHODS

Test samples of powders were made from concrete scrap of internal wall panels and floor slabs (heavy concrete, raw sample B1) and external wall panels (light concrete, raw sample B2) of a five-storey residential panel house built in 1979 in the Obozersky village, Arkhangelsk region (Fig. 1). The residual strength of samples was determined by the shock pulse method according to GOST 22690-2015 on the IPS-MG4 device.

Concrete test samples were split into pieces maximum $120 \times 120 \times 60$ mm in size with subsequent reinforcement extraction. Then concrete fragments were crushed



Fig. 1. Photo of a panel house built in 1979

using the DShch 1–2 jaw crusher (Prommash, Russia). Screenings were divided into fractions on a standard set of sieves (GOST 3584-73) by a dry method. A fraction that passed through the Sieve No. 015 mesh was selected for further research. Thus, it can be assumed that particle size properties of B1 and B2 raw samples did not exceed 0.14 mm. Before the final grinding, all the raw materials studied were brought to a constant mass in a drying cabinet at $60 \pm 5^\circ\text{C}$ and subjected to the procedure of true density measurement according to the method specified in GOST 32763-2014 “Mineral Powder. The Method of Determining the True Density.” The chemical composition of test samples was determined using the MetExpert X-ray fluorescence analyzer (Yuzhpolymetal-Holding, Moscow, Russia). The final mechanical grinding of raw materials was carried out to obtain a specific surface area comparable to that of Portland cement ($300 \div 500 \text{ m}^2/\text{kg}$) by dry grinding in the Retsch PM100 planetary ball mill at a rotor speed of 420 rpm. The specific surface area of dispersed materials and dimensional properties of particles were measured by the Kozeny-Carman gas permeability methods at the PSKh-10a unit (Khodakov Devices, Russia). The activity of waste concrete powders obtained was determined by an accelerated method for 3 hours according to the cement paste contraction value using the Cement-Prognoz unit in accordance with MI 2486-98, MI 2487-98 measurement methods. Portland cement M500 was used for a comparative assessment of the activity of mineral powder systems. Physical and mechanical parameters (bending strength and compressive strength) of construction products (40x40x160 mm cement-sand and mineral beams and 100x100x100 mm concrete cubes) were determined in accordance with standard methods.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Residual strength tests of experimental concrete samples showed that light (Sample B2) and heavy (Sample B1) concrete can be classified as Class B22,5 and Class B40, respectively. The average true specific density (ρ) values of the samples studied were: 2253 kg/m^3 for Sample B2, and 2350 kg/m^3 for Samples B1. The elemental composition of Sample B1 and Sample B2 (in terms of

oxides) differs significantly in the content of main components: SiO_2 – 36.68% and 16.73%, CaO – 51.39% and 76.63%, Fe_2O_3 – 11.18% and 5.89% for light (B2) and heavy (B1) concrete, respectively. The content of the rest elements can be considered as impurity one since their total amount does not exceed 1%. Thus, the elemental composition analysis showed the absence of carcinogens (agents potentially dangerous for the human body) that could form in concrete during its long-term operation as a result of metasomatic processes. In further experiments, it was found that the 30-minute final mechanical grinding of concrete scrap samples obtained after the jaw crusher made it possible to obtain finely dispersed powders with a specific surface area and dimensional properties (average mass diameter) of particles comparable to those used in further experiments of Portland cement M500 (Sample PC500) (Table 1) with the true specific density of 2550 kg/m^3 .

The results obtained (Table 1) show that concrete scrap with a higher residual strength features by increased grindability compared to a part of test samples having a reduced residual compressive strength corresponding to Class B22,5.

In order to determine the GI digital value according to equation (1), we used the values of corresponding powders obtained after screening on Sieve No. 015 and determined by us in [6] as $S_{\text{spec}1}$ for Sample B1 and Sample B2. In particular, it was $S_{\text{spec}1} = 240 \text{ m}^2/\text{kg}$ for Sample B1, and $S_{\text{spec}2} = 260 \text{ m}^2/\text{kg}$ for Sample B2. Therefore, $GI = 3.0 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ for light concrete (B2), and $GI = 6.7 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ for heavy concrete (B1). The data obtained show that Concrete B1 tested features by grindability more than twice that of Concrete B2. In our opinion, the seemingly contradictory fact noted can be explained using the following hypothetical model: destruction is an irreversible violation of the continuity of the medium under the influence of loads (particle destruction to a size of $0.1 \text{ }\mu\text{m}$ is called grinding), and it is determined by the material strength properties only at the same loading mechanism. In its turn, the strength of solids is a combination of two factors, namely the resistance to destruction (compressive strength) and irreversible shape change (plastic deformation) under the influence of external loads. The latter factor is dominant in the me-

Table 1
Specific surface area and particle size properties of powders used

Test sample	Specific surface area (S_{spec}), m^2/kg	Average mass diameter of particles (d), μm
PC500	430	4.5
B1	440	5.9
B2	350	7.5

Table 2

Binding performance of test samples

Sample	Contraction, ml/g	Binder activity, MPa	Bending strength, MPa	Compressive strength, MPa
PC500	3.05	41.9	4.68	73.58
B1	0.28	4.0	0.17	0.72
B2	0.35	5.1	0.15	1.04
PC-10B1	—	—	5.12	49.31
PC-10B2	—	—	4.44	57.92

chanical dispersion of solids. Therefore, Concrete Sample B1 has a lower ability to exhibit plastic deformation.

Another important parameter of powder systems that affects their reactivity is the shape of crushed particles determined based on the average diameter calculation according to the expression (2). This approach implemented for the concrete samples tested gave the following results. For Sample B1 and Sample B2 d_{calc} was 5.8 μm and 7.6 μm (respectively); at the same time, $\Delta d = |d_{calc} - d_{ex}|$ has the same value equal to 0.1 μm for the concrete samples tested. A good coincidence of the calculated and experimental dimensional properties of the particles may indicate that their spherical shape is approximately the same, and, consequently, their reactivity is close as determined by the geometric structure. In contrast, the calculation of the d_{calc} value for PC500 used showed that this parameter is equal to 5.5 μm and $\Delta d = 1.0 \mu\text{m}$. It is known that the shape of the cement grain can be changed significantly during the binder production process depending on the grinding unit type [18, 19]. The difference in the calculated value of the linear size of cement particles and the experimentally determined one may indicate that in our case the particles have a fragmentary “crushed stone” shape with sharp corners and a highly developed configuration. An important conclusion from these experiments may be the following statement. The grinding principle used, which is implemented at the grinding unit used (planetary ball mill), is ineffective for carrying out the process of concrete scrap mechanical grinding in order to obtain a dispersed powder with a highly developed active surface.

Following the studies, the amount of contraction (volumetric deformation of powder systems during hydration) and the forecast of their possible activity when used as binders were determined at the Cement-Prognoz unit (Table 2) for Sample PC500, Sample B1 and Sample B2. In addition, beams made of cement-sand mortar and solutions with cement replaced by the studied powder from Sample B1 and Sample B2 were manufactured and tested for physical and mechanical characteristics (bending strength, compressive strength) to assess the binding capacity. Additionally, strength test samples were made

with 10% of cement replaced by B1 and B2 highly dispersed concrete scrap powders (PC-10B1 and PC-10B2, respectively). The values of the obtained properties are presented in Table 2.

The obtained data showed that M500 cement contraction and activity, as expected, have sufficient values characteristic of hydration-type curing binders. For powders prepared from concrete scrap, the effect of hydration is also noted but its value is an order of magnitude lower in quantitative terms. This explains the near-zero strength properties of beams based on waste concrete mineral powders. At the same time, B1 and B2 highly dispersed system additives introduced into Portland cement can allow controlling the shrinkage process during the concrete production or operation processes to avoid the occurrence of spontaneous stresses in the material and, as a result, microcracking with potentially deteriorated physical and mechanical properties of construction products. Thus, it is found that waste concrete powders of this dispersion degree (specific surface area) can be used as highly dispersed fillers.

Composite binder (CB) based on Portland cement (90%) and highly dispersed waste concrete powder (10%) features by a 21% decrease in compressive strength compared to Portland cement for a composite with the light concrete powder additive and a 33% decrease in strength for CB with the heavy concrete powder additive. However, CB deformation properties virtually do not change (when adding Concrete Powder B2, bending strength reduced by 5% relative to PC500; when adding Concrete Powder B1, bending strength increased by 9%). Thus, it can be concluded that the highly dispersed powder of light concrete added as a component of CB makes it possible to obtain a concrete composite of a higher strength class compared to CB with a highly dispersed additive of heavy concrete, while reducing the cement consumption.

We made concrete samples in the form of cubes with crushed stone (5 mm) from light and heavy concrete used as an aggregate with the same cement content and equal water-cement and water-solid ratio. After 28 days of holding under normal curing conditions, samples were tested for compressive strength. The test results showed that

the compressive strength of concrete with crushed stone from waste light and heavy concrete was 15.45 MPa and 43.48 MPa, respectively. Therefore, it can be concluded that the higher the residual strength class of concrete scrap used as a coarse aggregate in the concrete production process, the higher the compressive strength values of the final product.

CONCLUSIONS

The following provisions can be noted as the main results of the research conducted.

1. As the main integral criteria for choosing the rational use of waste concrete produced when demolishing

buildings and structures after their long-term operation, it is advisable to use the value of the residual compressive strength, the grindability of raw materials and the contraction of powders obtained from concrete scrap.

2. It is rational to use powders from the waste concrete fraction with low residual strength properties and grindability obtained by mechanical grinding to a specific surface area comparable to that of Portland cement used and having a higher value of contraction as a component of a composite binder.

3. Concrete scrap fractions featuring by increased grindability and residual strength properties are optimally used for the preparation of crushed stone aggregate in the concrete composite production process.

REFERENCES

1. Fayzrakhmanov I.I., Khaliullin M.I., Leklu A.N., Amiri O. Use of finely dispersed screenings of concrete scrap in cement compositions to obtain mortars. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2016; 4 (38): 395–401.
2. Larsen O.A., Narut V.V., Voronin V.V. Recycling technology of concrete scrap in order to obtain self-compacting concrete. *Building and reconstruction*. 2020; 2 (88): 61–66.
3. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D., Potapova V.A. Concretes with nano-additive from fired reclaimed concrete. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12 (5): 245–249. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249).
4. Krasnikova N.M., Khozin V.G. Recycling of concrete scrap as raw materials for cement concrete. *Construction Materials*. 2020; 1(2): 56–65. DOI: [10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65](https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65).
5. Gusev B.V., Krivoborodov Yu.R., Potapova V.A. Possibility of secondary use of concrete breaker. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2020; 27(1): 28–31.
6. Ayzenshtadt A.M., Drozdnyuk T.A., Danilov V.E., Frolova M.A., Garamov G.A. Surface activity of concrete waste powders. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 108–116. Available from: doi: [10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116).
7. Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S. Composite binders based on concretes scrap. *Bulletin of BSTU named after V.G.Shukhov*. 2020; 7: 8–18. DOI: [10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18](https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18).
8. Lesovik R.V., Akhmed A.A.A., Alaskhanov A.Kh. Binder from the dusty fraction of fragments of destroyed buildings and structures in Iraq. *Regional Architecture and Engineering*. 2020; 1(42): 69–76.
9. Adamtsevich A.O., Pashkevich S.A., Pustovgar A.P. Using calorimetry to predict the strength growth of accelerated hardening cement systems. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 3: 36–42.
10. Drozdnyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Nosulya A. A. Assessment of the activity of a mineral binder based on saponite-containing material. *The Construction Materials*. 2016; 9: 76–79.
11. Usharov-Marshak A.V. *Calorimetry of cement and concrete*. Kharkov: Fakt. 2002.
12. Serdyukova A.A., Rakhimbaev I.Sh. Influence of water-cement ratio on the kinetics of heat release of cements. *The Journal Cement and its Applications*. 2012; 3: 123–124.
13. Gazizov Kh.V. Influence of expanding additives on the contraction of oil well cements. *Inzhenernaya praktika*. 2012; 11: 72–75.
14. Beley I.I. Methods for compensating for contraction during hardening of Portland cement mortars. *Bulatovskiy chteniya (sbornik statey)*. 2018; 43–49.
15. Krasnikova N.M., Khozin E.V., Khozin V.G., Morozova N.M. Research of grindability of dry mixes for foam concrete. *Kazan Technological University Bulletin*. 2015; 18(8): 187–190.
16. Mishchenko Lidiya, Hatton Benjamin, Bahadur Vaibhav, Taylor J. Ashley, Krupenkin Tom, Aizenberg Joanna. Design of Ice-free Nanostructured Surfaces Based on Repulsion of Impacting Water Droplets. *Nanoletters*. 2010; 4 (12): 7699–7707.

17. Danilov V.E., Ayzenstadt A.M. Comprehensive approach to the assessment of nanosized fractions of poly-disperse systems of crushed rocks. *Nanotechnologies in Construction*. 2016; 8(3): 97–110. DOI: [10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110).
18. Zlobin I.A., Mandrikova O.S., Borisov I.N. Influence of the method of mechanical action on the geometric shape and nature of the surface of cement particles. *The Journal Cement and its Applications*. 2015; 5: 56–60.
19. He Huan, Stroeven Piet, Pirard Eric, Courard Luc. On the Shape Simulation of Aggregate and Cement Particles in a DEM System”. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015; 2015: 692768. DOI: [10.1155/2015/692768](https://doi.org/10.1155/2015/692768).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Arkady M. Ayzenshtadt – Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, the Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, the Honored Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, a.izenshtadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2904-2549>

Victor E. Danilov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, v.danilov@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5013-5339>

Tatiana A. Drozdnyuk – Senior Lecturer of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, t.drozdnyuk@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1847-408X>

Maria A. Frolova – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Composite Materials and Environmental Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, m.aizenstadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-5066>

Georgiy A. Garamov – Master Student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, georgiigaramov1997@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5496-1080>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Arkady M. Ayzenshtadt – scientific management; research concept; methodology development; scientific text editing; final conclusions.

Victor E. Danilov – research concept; methodology development; experimental work; experimental data processing; collection of material; writing the draft; final conclusions.

Tatiana A. Drozdnyuk – experimental work; experimental data processing; writing the draft; work with the editorial staff of the journal.

Maria A. Frolova – research concept, writing the draft; final conclusions.

Georgiy A. Garamov – experimental work; experimental data processing; collection of material.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 05.09.2021; approved after reviewing 28.09.2021; accepted for publication 01.10.2021.

Научная статья

УДК 548.31; 691.3

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-276-281>



Интегральные показатели качества отработанного бетона для вторичного использования

Аркадий Михайлович Айзенштадт , Виктор Евгеньевич Данилов , Татьяна Анатольевна Дроздук* , Мария Аркадьевна Фролова , Георгий Андреевич Гарамов

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

*Автор, ответственный за переписку: e-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Отработанный бетон является одним из основных многотоннажных строительных отходов, рециклинг которого перспективен с точки зрения рационального природопользования, связанного с сокращением потребления природных ресурсов. Однако широкое внедрение отработанного бетона сдерживается с одной стороны многообразием составов и структуры утилизируемого лома, с другой – отсутствием количественных критериев, позволяющих выбрать наиболее рациональное направление его использования (компонента вяжущего, крупного и мелкого заполнителя, тонкодисперсного наполнителя и пр.). **Методы и материалы.** В исследованиях на примере опытных порошков, которые были изготовлены методом механического помола из бетонного лома внутренних стеновых панелей и плит перекрытия (тяжелый бетон) и наружных стеновых панелей (легкий бетон) пятиэтажного жилого панельного дома 1979 года постройки в поселке Обозерский Архангельской области, показана возможность выбора оптимального вторичного использования фракций отработанного бетона, отличающихся остаточной прочностью на сжатие. В качестве критериев оптимизации применялись показатели остаточной прочности, размоловоспособность и контракция минеральных порошков. **Результаты и обсуждение.** Показана применимость математической модели расчета величины коэффициента размоловоспособности сырьевого материала. Предложен критерий для подбора помольного оборудования, применение которого позволит получать порошки с развитой активной поверхностью. **Заключение.** Порошки из фракции отработанного легкого бетона с низкими прочностными характеристиками и размоловоспособностью, полученные методом механического помола до значения удельной поверхности, сравнимой с данным показателем применяемого портландцемента, и имеющие более высокое значение контракции, рационально использовать в качестве компонента композиционного вяжущего. Фракции бетонного лома, характеризующиеся повышенными размоловоспособностью и прочностными характеристиками, оптимально использовать для приготовления щебеночного заполнителя в технологическом процессе получения бетонного композита.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетонный лом, вторичный бетон, критерий размоловоспособности, композиционное вяжущее, контракция минеральных порошков.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследования проводились на уникальном научном оборудовании «Физическая химия поверхностей нанодисперсных систем» при финансовой поддержке проекта Kolarctic № KO4068 «DeConcrete: Eco-efficient Arctic Technologies Cooperation».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Дроздук Т.А., Фролова М.А., Гарамов Г.А. Интегральные показатели качества отработанного бетона для вторичного использования // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 5. С. 276–281. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-276-281>

ВВЕДЕНИЕ

Вовлечение бетонного лома в производство, кроме решения задач, связанных с утилизацией многотоннажных строительных отходов, является также одним из перспективных направлений рационального природопользования, связанного с сокращением

потребления природных минеральных ресурсов. Таким образом, использование в данном конкретном случае вторичных ресурсов имеет два важных аспекта: экономический и экологический. Однако широкое внедрение отработанного бетона сдерживается, с одной стороны, многообразием составов и структуры утилизируемого лома, с другой – отсутствием

© Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Дроздук Т.А., Фролова М.А., Гарамов Г.А., 2021

количественных критериев, позволяющих выбрать наиболее рациональное направление его использования (компонента вяжущего, крупного и мелкого заполнителя, тонкодисперсного наполнителя и пр.). В настоящее время существуют различные подходы к рекомендациям по использованию вторичного бетона, которые связаны с подавляющим в большинстве случаев его использованием в качестве крупного заполнителя [1, 2]. Однако использование вторичного бетона только в качестве заполнителей нельзя считать оптимальным подходом в решении задачи рециклинга этих материалов. Известно, что в матрице бетона присутствуют негидратированные клинкерные частицы, которые при измельчении и последующей гидратации способны формировать новую структуру твердения [3–6]. Количество негидратированной клинкерной части может достигать 20% [7, 8]. Так, исследования показывают, что к 28 суткам твердения бетона в нормальных влажностно-температурных условиях полная гидратация наблюдается у трехкальциевого алюмината $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A). Трехкальциевый силикат $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) гидратируется на 70–75%, а двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) на 50–75%. Таким образом, в бетонных изделиях в структуре цементного камня остаются негидратированные частицы C_3S и C_2S . Поэтому бетонный лом из разрушенных зданий и сооружений, как правило, содержит клинкерные минералы, способные к дальнейшему твердению. Тонкодисперсный порошок вторичного бетона при значительном остаточном содержании негидратированных силикатов кальция может являться активным компонентом в вяжущих композициях. Исходя из вышеизложенного, используя методы оценки способности порошка при взаимодействии с водой образовывать гидросиликаты дополнительной генерации, можно прогнозировать рациональное использование бетонного лома в качестве крупного (или мелкого) заполнителя или компонента в вяжущих композициях. К таким методам, например, можно отнести уменьшение объема смеси (порошок-вода) вследствие гидратации (контракция) [9–14]. Данный факт связан с тем, что объем новообразований цементного камня меньше объема, занимаемого веществами, вступающими в реакцию гидратации (усадка интенсивно развивается при протекании химической реакции). Дополнительными параметрами, определяющими рациональное использование отработанного бетона, могут являться, например, размолосопособность образцов и их остаточная прочность на сжатие. Авторами работы [15] предложен количественный критерий размолосопособности – коэффициент (КР), который рассчитывается по выражению:

$$\text{КР} = (S_{\text{уд}2} - S_{\text{уд}1}) / \Delta\tau, \quad (1)$$

где $S_{\text{уд}1}$ и $S_{\text{уд}2}$ – удельные поверхности порошков до и после механического измельчения за время $\Delta\tau$. Кроме того, немаловажную роль при получении активного (способного к химической трансформации) порошка играет форма полученных при помоле частиц. Дисперсные системы, у которых частицы характеризуются сферической симметрией, образуют менее активную поверхность, чем частицы краеугольной формы. При этом необходимо принимать во внимание факт взаимосвязи основных дисперсных характеристик порошков: размер частиц и удельную поверхность. Так, если частицы имеют форму, близкую к сферической, и проявляют свойства упругих тел, справедливо соотношение [16, 17]:

$$d = 6 / (\rho_{\text{ист}} \cdot S_{\text{уд}}), \quad (2)$$

где d – средний линейный размер частиц, м; $\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность порошка, $\text{кг}/\text{м}^3$. Таким образом, чем больше разница между расчетным значением d по выражению (2) и экспериментально определенной современными методами (например, фотонно-корреляционной спектроскопией) аналогичной размерной характеристикой, тем частица (или вся порошковая система) потенциально более реакционноспособна. Этот критерий можно использовать при выборе наиболее оптимального помольного аппарата.

Целями данных исследований являются оценка величины контракции порошков бетонного лома различной исходной прочности (легкий и тяжелый бетоны), полученных из фрагментов разрушенных зданий, эксплуатируемых более 50 лет; опытная проверка возможности использования высокодисперсных порошков в качестве компонента в композиционных вяжущих (КВ); повторное использование образцов отработанного бетона в качестве заполнителя.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Опытные образцы порошков были изготовлены из бетонного лома внутренних стеновых панелей и плит перекрытия (тяжелый бетон, сырьевой образец Б1) и наружных стеновых панелей (легкий бетон, сырьевой образец Б2) пятиэтажного жилого панельного дома 1979 года постройки в поселке Обозерский Архангельской области (рис. 1). Остаточная прочность образцов определялась методом ударного импульса по ГОСТ 22690-2015 на приборе ИПС-МГ4.

Опытные образцы бетона раскалывались на куски размером не более $120 \times 120 \times 60$ мм, из которых извлекалась арматура. Далее фрагменты бетона дробились на щековой дробилке ДЩ 1-2 («Проммаш», Россия). Отсевы были разделены на фракции на стандартном наборе сит (ГОСТ 3584-73) сухим способом. Для дальнейших исследований была выбрана фракция,



Рис. 1. Фотография панельного дома 1979 года постройки

которая проходила через ячейки сита № 015. Таким образом, можно считать, что размерные характеристики частиц сырьевых образцов Б1 и Б2 не превышали 0,14 мм. Перед финишным измельчением все исследуемое сырье доводилось до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре $60 \pm 5^\circ\text{C}$ и подвергалось процедуре измерения истинной плотности по методике ГОСТ 32763-2014 «Порошок минеральный. Метод определения истинной плотности». Химический состав опытных образцов определялся с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора «МетЭксперт» («Южполиметалл-Холдинг», Москва, Россия). Окончательный механический помол сырьевых материалов проводился до получения величины площади удельной поверхности, сравнимой с данным показателем для портландцемента ($300 \div 500 \text{ м}^2/\text{кг}$), путем сухого измельчения в планетарно-шаровой мельнице Retsch PM100 при скорости вращения ротора 420 об/мин. Удельную поверхность дисперсных материалов и размерные характеристики частиц измеряли методами газопроонируемости Козени-Кармана на установке ПСХ-10а («Приборы Ходакова», Россия). Активность полученных порошков отработанного бетона определялась ускоренным методом за 3 часа по величине контракции цементного теста с помощью установки Цемент-Прогноз в соответствии с методиками измерения МИ 2486-98, МИ 2487-98. Для сравнительной оценки активности минеральных порошковых систем использовался портландцемент М500. Физико-механические показатели (прочность на изгиб и прочность на сжатие) строительных изделий (цементно-песчаных и минеральных балочек размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$ и бетонных кубов $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$) определялись в соответствии со стандартными методиками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение остаточной прочности опытных образцов бетона показало, что легкий бетон (об-

разец Б2) можно отнести к классу В22,5, тяжелый (образец Б1) — к В40. Усредненные значения истинной плотности (ρ) исследуемых образцов составили: для образца Б2 — 2253 кг/м^3 , а для образцов Б1 — 2350 кг/м^3 . Элементный состав образцов Б1 и Б2 (в пересчете на оксиды) значительно отличается по содержанию основных компонентов: так, для легкого (Б2) и тяжелого (Б1) бетонов SiO_2 — 36,68% и 16,73%, CaO — 51,39% и 76,63% и Fe_2O_3 — 11,18% и 5,89%, соответственно. Содержание остальных элементов можно считать примесным, так как суммарное их количество не превышает 1%. Таким образом, проведенный анализ элементного состава показал отсутствие канцерогенов (потенциально опасных для организма человека агентов), которые могли образоваться в бетоне в процессе его длительной эксплуатации в результате метасоматических процессов. В продолжение экспериментов установлено, что 30-минутный финишный механический размол образцов бетонного лома, полученных после щековой дробилки, позволил получить тонкодисперсные порошки с удельной поверхностью и размерными характеристиками (среднемассовым диаметром) частиц, сравнимыми с используемым в дальнейших опытах портландцементом М500 (образец ПЦ500) (табл. 1), истинная плотность которого составляет 2550 кг/м^3 .

Полученные результаты (табл. 1) показывают, что бетонный лом с более высокой остаточной прочностью характеризуется повышенной размолоспособностью по сравнению с частью испытуемых образцов, имеющих пониженную остаточную прочность на сжатие, соответствующую классу В22,5.

Для определения цифрового значения коэффициента КР по уравнению (1) нами в качестве $S_{\text{уд1}}$ для образцов Б1 и Б2 использованы значения соответствующих порошков, полученных после отсева на сите №015 и определенные нами в работе [6]. Так, для порошка Б1 $S_{\text{уд1}} = 240 \text{ м}^2/\text{кг}$ и для Б2 $S_{\text{уд1}} = 260 \text{ м}^2/\text{кг}$. Тогда для легкого бетона (Б2) $\text{КР}_2 =$

Таблица 1

Удельная поверхность и размерная характеристика частиц используемых порошков

Опытный образец	Удельная поверхность ($S_{уд}$), м ² /кг	Среднемассовый диаметр частиц (d), мкм
ПЦ500	430	4,5
Б1	440	5,9
Б2	350	7,5

3,0 м² • кг⁻¹ • мин⁻¹ и для тяжелого бетона (Б1) $KP_1 = 6,7$ м² • кг⁻¹ • мин⁻¹. Полученные данные показывают, что испытуемый бетон Б1 характеризуется размолом способностью, более чем в два раза превышающей бетон Б2. Отмеченный, казалось бы, противоречивый факт, на наш взгляд, можно объяснить, используя следующую гипотетическую модель: разрушение представляет собой необратимое нарушение сплошности среды под действием нагрузок (разрушение частиц до крупности 0,1 мкм принято называть измельчением) и при одинаковом механизме нагружения будет определяться только прочностными свойствами материала. В свою очередь, прочность твердых тел складывается из двух факторов – это сопротивление разрушению (прочность при сжатии) и необратимому изменению формы (пластической деформации) под воздействием внешних нагрузок. Последний фактор является доминирующим при механическом диспергировании твердых тел. Таким образом, образец бетона Б1 обладает меньшей способностью проявлять пластическую деформацию.

Другим важным параметром порошковых систем, влияющим на их реакционную способность, является форма раздробленных частиц, характеристика которой следует из расчета среднего диаметра по выражению (2). Для испытуемых образцов бетона реализация данного подхода дала следующие результаты. Для образца Б1 и Б2 $d_{расч}$ составила 5,8 мкм и 7,6 мкм (соответственно); при этом $\Delta d = |d_{расч} - d_{экс}|$ для испытуемых образцов бетона имеет одинаковое значение, равное 0,1 мкм. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных размерных характеристик частиц может свидетельствовать о примерно одинаковой их

сферической форме, а следовательно, близкой реакционноспособности, определяющейся геометрическим строением. В противоположность этому проведенный расчет величины $d_{расч}$ для используемого ПЦ500 показал, что данный параметр равен 5,5 мкм и $\Delta d = 1,0$ мкм. Известно, что в зависимости от типа помольного агрегата при технологическом получении вяжущего можно существенно изменить форму цементного зерна [18, 19]. Разница в расчетном значении линейного размера частиц цемента и экспериментально определенного может свидетельствовать, что в нашем случае частицы имеют осколочную «щебеночную» форму с острыми углами и сильно развитой конфигурацией. Важным выводом данных экспериментов может являться следующее заключение. Используемый принцип размола, который реализуется на применяемом размольном аппарате (планетарная шаровая мельница), малоэффективен для проведения процесса механического помола бетонного лома с целью получения дисперсного порошка с высоко-развитой активной поверхностью.

В продолжение исследований для образцов ПЦ500, Б1 и Б2 на установке Цемент-Прогноз были определены величина контракции (объемной деформации порошковых систем при гидратации) и прогноза их возможной активности при использовании в качестве вяжущих веществ (табл. 2). Кроме того, для оценки вяжущей способности были изготовлены и испытаны на физико-механические характеристики (прочность на изгиб, прочность на сжатие) балочки из цементно-песчаного раствора и растворов, в которых цемент был замещен исследуемым порошком из образцов Б1 и Б2. Дополнительно были изготовлены образ-

Таблица 2

Характеристика вяжущих свойств испытуемых образцов

Образец	Контракция, мл/г	Активность вяжущего, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа
ПЦ500	3,05	41,9	4,68	73,58
Б1	0,28	4,0	0,17	0,72
Б2	0,35	5,1	0,15	1,04
ПЦ-10Б1	—	—	5,12	49,31
ПЦ-10Б2	—	—	4,44	57,92

цы для испытаний на прочностные характеристики, в которых 10% цемента замещены высокодисперсными порошками бетонного лома Б1 и Б2 (ПЦ-10Б1 и ПЦ-10Б2, соответственно). Значения полученных характеристик представлены в табл. 2.

Полученные данные показали, что для цемента М500, как и ожидалось, контракция и активность имеют достаточные значения, характерные для вяжущих гидратационного типа твердения. Для порошков, приготовленных из бетонного лома, отмечается также эффект гидратации, однако в количественном выражении величина его на порядок ниже, что и объясняет практическое отсутствие прочностных свойств балочек, изготовленных на основе минеральных порошков отработанного бетона. Вместе с тем, введение добавки из высокодисперсных систем Б1 и Б2 в портландцемент может позволить управлять процессом усадки в технологический период изготовления или эксплуатации бетона, что позволит избежать возникновения самопроизвольных напряжений в материале и, как следствие, микротрещинообразования с возможным ухудшением физико-механических свойств строительных изделий. Таким образом, установлено, что порошки отработанного бетона данной степени дисперсности (удельной поверхности) могут использоваться в качестве высокодисперсных наполнителей.

Композиционное вяжущее (КВ) на основе портландцемента (90%) и высокодисперсного порошка отработанного бетона (10%) характеризуется 21% снижением прочности на сжатие по сравнению с портландцементом для композита с добавкой порошка легкого бетона и 33% снижением прочности для КВ с добавкой порошка тяжелого бетона. Однако деформационные характеристики КВ практически не претерпевают изменения (в случае добавки порошка бетона Б2 уменьшение величины прочности на изгиб составило 5% по отношению к ПЦ500. При добавке порошка бетона Б1 прочность на изгиб увеличилась на 9%). Таким образом, можно заключить, что в качестве компонента КВ добавка высокодисперсного порошка легкого бетона позволяет получить при сокращении расхода цемента бетонный композит более высокого класса прочности по сравнению с КВ с высокодисперсной добавкой тяжелого бетона.

Нами были изготовлены бетонные образцы в виде кубов, где в качестве заполнителя использовался щебень (5 мм) из легкого и тяжелого бетонов с одинаковым содержанием цемента, равными водоцементным и водотвердым отношением. После 28 суточной выдержки в нормальных условиях твердения образцы были испытаны на прочность при сжатии. Результаты испытаний показали, что прочность на сжатие бетона с щебнем из отработанного легкого и тяжелого бетона составила 15,45 и 43,48 МПа. Таким образом, можно заключить, что чем выше остаточный класс прочности бетонного лома, используемого в качестве крупного заполнителя в технологическом процессе получения бетона, тем более высокими значениями прочности на сжатие будет обладать конечный продукт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве основных результатов проведенных исследований можно отметить следующие положения:

1. В качестве основных интегральных критериев при выборе рационального использования отработанного бетона, выработанного при демонтаже зданий и сооружений, после их длительной эксплуатации целесообразно использовать величину остаточной прочности на сжатие, размолосопособность исходного сырья и контракцию порошков, полученных из бетонного лома.

2. Порошки из фракции отработанного бетона с низкими остаточными прочностными характеристиками и размолосопособностью, полученные методом механического помола до значения удельной поверхности, сравнимой с данным показателем применяемого портландцемента, и имеющие более высокое значение контракции, рационально использовать в качестве компонента композиционного вяжущего.

3. Фракции бетонного лома, характеризующиеся повышенными размолосопособностью и остаточными прочностными характеристиками, оптимально использовать для приготовления щебеночного заполнителя в технологическом процессе получения бетонного композита.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Файзрахманов И.И., Халиуллин М.И., Леклу А.Н., Амири О. Использование тонкодисперсных отсевов бетонного лома в цементных композициях для получения строительных растворов // Известия КГАСУ. 2016. Т. 4, № 38. С. 395–401.
2. Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона // Строительные материалы и технологии. 2020. Т. 2, № 88. С. 61–66.
3. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д., Потапова В.А. Бетоны с нанодобавкой из обожженного вторичного бетона // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Т. 12, № 5. С. 245–249. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-245-249).

4. Красиникова Н.М., Хозин В.Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // Строительные материалы. 2020. Т. 1, № 2. С. 56–65. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65.
5. Гусев Б.В., Кривобродов Ю.Р., Потапова В.А. Возможность вторичного применения бетонолома // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27, № 1. С. 28–31.
6. Айзенштадт А.М., Дроздук Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А., Гарамов Г.А. Активность поверхности порошков бетонного лома // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 2. С. 108–116. DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-108-116.
7. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18.
8. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аласханов А.Х. Вяжущее из пылевидной фракции разрушенных зданий и сооружений Ирака // Региональная архитектура и строительство. 2020. Т. 1, № 42. С. 69–76.
9. Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 3. С. 36–42.
10. Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Носуля А. А. Оценка активности минерального связующего на основе сапонит-содержащего материала // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 76–79.
11. Ущеров-Маршак, А. В. Калориметрия цемента и бетона / А.В. Ущеров-Маршак. Харьков: Факт, 2002. 183 с.
12. Сердюкова А.А., Рахимбаев И.Ш. Влияние водоцементного отношения на кинетику тепловыделения цемента // Цемент и его применение. 2012. № 3. С. 123–124.
13. Газизов Х.В. Влияние расширяющихся добавок на контракцию тампонажных цемента // Инженерная практика. 2012. № 11. С. 72–75.
14. Белей И. и др. Способы компенсации контракции при твердении портландцементных растворов // Булатовские чтения. 2018. Т. 3. С. 43–49.
15. Красиникова Н.М., Хозин Е.В., Хозин В.Г., Морозова Н.М. Исследование размоловоспособности сухих смесей для пенобетона // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 8. С. 187–190.
16. Mishchenko, L., Hatton, B., Bahadur, V., Taylor, J. A., Krupenkin, T., & Aizenberg, J. Design of ice-free nanostructured surfaces based on repulsion of impacting water droplets // ACS nano. 2010. V. 4, No. 12, P. 7699–7707.
17. Данилов В. Е., Айзенштадт А. М. Комплексный подход к оценке наноразмерных фракций полидисперсных систем измельченных горных пород // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2016. Т. 8, № 3. С. 97–110. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-3-97-110.
18. Злобин И. А., Мандрикова О. С., Борисов И. Н. Влияние способа механического воздействия на геометрическую форму и характер поверхности частиц цемента // Цемент и его применение. 2015. № 5. С. 56–60.
19. Huan He, Piet Stroeve, Eric Pirard, Luc Courard, "On the Shape Simulation of Aggregate and Cement Particles in a DEM System", Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2015, Article ID 692768, 7 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/692768>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Айзенштадт Аркадий Михайлович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный работник науки и высоких технологий РФ, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, a.isenshtadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2904-2549>

Данилов Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, v.danilov@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5013-5339>

Дроздук Татьяна Анатольевна – старший преподаватель кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, t.drozdyuk@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1847-408X>

Фролова Мария Аркадьевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, m.aizenstadt@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-5066>

Гарамов Георгий Андреевич – магистрант, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, georgiigaramov1997@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5496-1080>

ВКЛАД АВТОРОВ

Айзенштадт А.М. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; научное редактирование текста; итоговые выводы.

Данилов В.Е. – концепция исследования; развитие методологии; проведение экспериментальной работы; обработка экспериментальных данных; сбор материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Дроздук Т.А. – проведение экспериментальной работы; обработка экспериментальных данных; написание исходного текста; работа с редакцией журнала.

Фролова М.А. – концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Гарамов Г.А. – проведение экспериментальной работы; обработка экспериментальных данных; сбор материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 05.09.2021; одобрена после рецензирования 28.09.2021; принята к публикации 01.10.2021.

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-282-292>



Arrangement of chemical elements in the three-dimensional matrix

Boris V. Gusev^{1*} , Samuel Y-L. Yin², Anatoly A. Speransky¹

¹ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

² Ruentex Engineering & Construction Co., Ltd, Taipei, Taiwan

* Corresponding author: e-mail: info-rae@mail.ru

ABSTRACT: It is emphasized in the article that thanks to the discovery of D.I. Mendeleev and the Periodic Table of chemical elements existing for more than 150 years, as well as the international table IUPAC, chemistry has been actively developing and keeps developing. A new model for arranging chemical elements in the form of a three-dimensional matrix has been proposed. This makes it possible to predict new elements with the designation of nuclear masses and the electronic structure of shells. There have been developed new patterns according to the cyclicity (block structure) of horizontal rows and the structure of vertical groups and their physical conception have been specified.

KEYWORDS: cyclicity and block structure, three-dimensional matrix of chemical elements, nuclear masses, proton-neutron structure of nuclei, electronic levels, electronic characteristics of levels and sublevels (orbitals), prediction of new elements.

FOR CITATION: Gusev B.V., Yin S.Y-L., Speransky A.A. Arrangement of chemical elements in the three-dimensional matrix. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5): 282–292. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-282-292>

INTRODUCTION

The periodic law and its presentation in the form of tables of chemical elements by D.I. Mendeleev and the international IUPAC is an outstanding discovery of mankind. At the end of 2019, the entire world scientific community under the auspices of the UN celebrated the 150th anniversary of this event. Currently, the tables contain 118 elements, but not all of them are found in natural form, since some are obtained artificially. The authors have written a new work on the Three-dimensional matrix of chemical elements [3].

There have been considered the concepts of the Universe and a **physical model of the Big Bang and the expanding Universe** is adopted to describe the emergence of chemical elements, the task is set to describe them in the form of a three-dimensional expanding matrix of chemical elements. At the top of the matrix are hydrogen (H) and helium (He), being the basis for the creation of all subsequent elements, and further other elements are arranged along the expanding spiral and group principles of valences serve as the boundaries for such structure.

The second most important consideration is the origin and evolution of the Universe, **all living and non-living in it in a spiral** [10, 11]. Being obvious for the living nature, for non-living nature it is assumed that chemical elements might serve as the building blocks for this spiral, which will form molecules in the future when interacting with each other. The entire material inorganic world is formed from molecules. And then natural processes take place i.e. the creation of living matter: plants, animals and people. Thus, the entire development of the mineral and living world proceeds in spirals.

Presented generalisations show that when **structuring a system of chemical elements**, in addition to the periodicity of the formation of valence groups of outer orbitals, the **concept of cyclicity and block structuring of elements horizontally is preferable**.

MAIN PART

1. Cyclicity and block structure of chemical elements

The modern periodic system is based on the nuclear charge (Z), which determines the place of an element in

the system [1, 13, 14]. Nuclear periodicity is expressed in a periodic change in the properties of atomic nuclei. The main parameter that determines this periodicity is the number of protons (P) and neutrons (N) in the nucleus. Figure 1 shows the dependence of the mass of nuclei of elements (protons and neutrons) and the mass of neutrons for the discovered 118 chemical elements.

The authors have calculated the neutron-proton ratio in the nuclei of chemical elements. In the short-period table 1, a, the averaged indicators of these ratios for the blocks are presented. It should be noted that these averaged values for blocks are equal both in the short-period table and in the IUPAC table (Table 1, b). Therefore, the **block structure**, in our opinion, corresponds to the concept of **cyclicity** i.e. the completeness of the system of periodicity of two periods, including the families of lanthanides and actinides.

The study of the three-dimensional periodic matrix of chemical elements based on a multiparameter coordinate system clearly demonstrates the stable formation of **block patterns in the cyclic periodicity** in the properties of chemical elements in periods and blocks with an increase in their ordinal numbers and unites all the previously described periodicity options [4, 7]. It should be noted that the concepts of “period” of the two types of tables are identical (there are 7 of them each), but an important circumstance that requires special attention

is the obvious discrepancy between the «rows» and the group valence principle of periodicity in a long-period table.

In [3, 4], it was concluded that the 3D-spirally diverging system of the matrix of chemical elements has 4 periodicity blocks and 7 periods. Analysis of the structure of period formation confirms that periods can be divided into simple ones, in which one element is formed in each group (2 elements with an external signal orbital and 6 elements with an external valence orbital, 8 in total) and more complex ones containing grouped “families” elements within one group (**III** or **VIII**). Thus, in blocks, everything can be represented as follows (Table 1).

– The first block **A** corresponds to short single-element periods (and rows **0-1**) of the matrix, where the first elements are hydrogen and helium (**H¹**-hydrogen and **He²**-helium). For the first block, the ratio of neutrons (N) to protons (P) can be taken equal to 1.

– The second block **B** structurally positions the completeness of the cyclic eight-element periodicity, which corresponds to simple periods (and rows) **2** (includes 8 elements from **Li³** to **Ne¹⁰**) and **3** matrices (includes 8 elements from **Na¹¹** to **Ar¹⁸**). For the second block, N:P is less than 1.1.

– The third block C structurally represents the completeness of the cyclic 10- and 8-element periodicity in the block, two additional “families” have appeared: iron

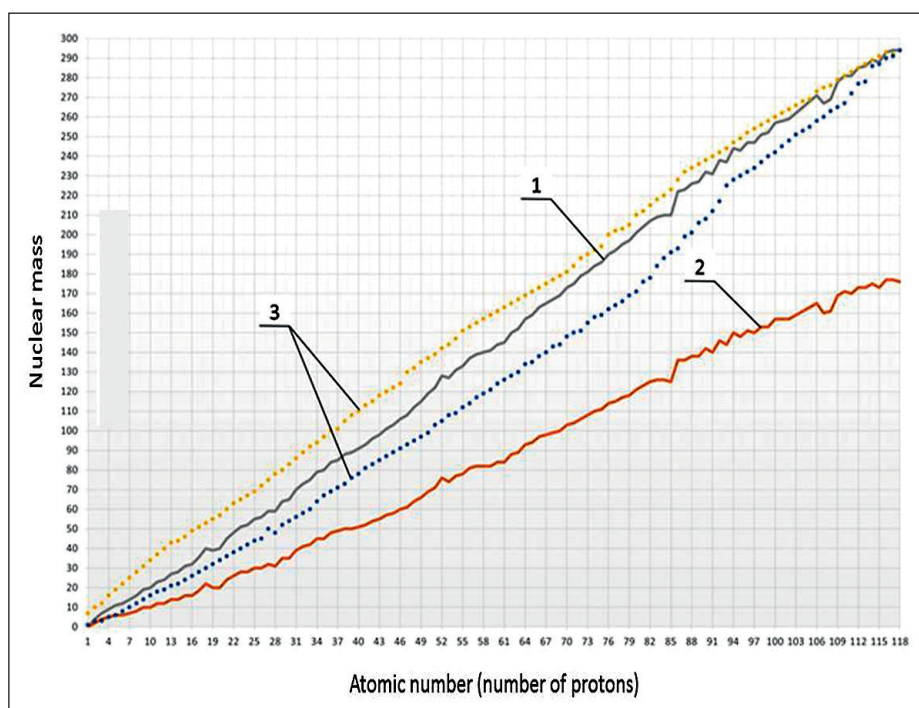


Fig. 1. Dependences of nuclear masses (protons and neutrons) and mass neutrons (neutrons) for 118 chemical elements: 1 – the number of protons and neutrons; 2 – the number of neutrons; 3 – isotopes

Table 1

The ratio of neutrons and protons in the nuclei of atoms of chemical elements

a) Mendeleev Table

Ratio of neutrons (n) to / protons (p)	Blocks, periods / rows	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII				
	A 1	H ¹ 1,008 1							He ² 4 1,0				
Less than 1,1	B 2	Li ³ 7 1,33	Be ⁴ 9 1,25	B ⁵ 11 1,20	C ⁶ 12 1,0	N ⁷ 14 1,0	O ⁸ 16 1,0	F ⁹ 19 1,11	Ne ¹⁰ 20 1,0				
	B 3	Na ¹¹ 23 1,09	Mg ¹² 24 1,0	Al ¹³ 27 1,08	Si ¹⁴ 28 1,0	P ¹⁵ 31 1,07	S ¹⁶ 32 1,0	Cl ¹⁷ 35 1,09	Ar ¹⁸ 40 1,22				
Less than 1,3	C 4/4-5	K ¹⁹ 39 1,05	Ca ²⁰ 40 1,0	Sc ²¹ 45 1,14	Ti ²² 48 1,18	V ²³ 51 1,22	Cr ²⁴ 52 1,17	Mn ²⁵ 55 1,20	Fe ²⁶ 56 1,15				
		Cu ²⁹ 63 1,21	Zn ³⁰ 65 1,17	Ga ³¹ 70 1,26	Ge ³² 73 1,28	As ³³ 75 1,27	Se ³⁴ 79 1,32	Br ³⁵ 80 1,29	Kr ³⁶ 84 1,33				
		Rb ³⁷ 85 1,32	Sr ³⁸ 88 1,32	Y ³⁹ 91 1,28	Zr ⁴⁰ 91 1,28	Nb ⁴¹ 93 1,27	Mo ⁴² 96 1,29	Tc ⁴³ 98 1,28	Ru ⁴⁴ 101 1,30				
	C 5/6-7	Ag ⁴⁷ 108 1,30	Cd ⁴⁸ 112 1,33	In ⁴⁹ 115 1,35	Sn ⁵⁰ 119 1,38	Sb ⁵¹ 122 1,39	Te ⁵² 128 1,46	I ⁵³ 127 1,40	Xe ⁵⁴ 131 1,43				
Less than 1,55	D 6/8-9	Cs ⁵⁵ 133 1,42	Ba ⁵⁶ 137 1,45	La ⁵⁷ 139 1,44	Hf ⁷² 179 1,49	Ta ⁷³ 181 1,48	W ⁷⁴ 184 1,49	Re ⁷⁵ 186 1,48	Os ⁷⁶ 190 1,50				
		Au ⁷⁹ 197 1,49	Hg ⁸⁰ 201 1,50	Tl ⁸¹ 204 1,52	Pb ⁸² 207 1,52	Bi ⁸³ 209 1,52	Po ⁸⁴ 210 1,50	At ⁸⁵ 210 1,47	Rn ⁸⁶ 222 158				
	D 7/9-11	Fr ⁸⁷ 223 1,56	Ra ⁸⁸ 226 1,57	Ac ⁸⁹ 227 1,55	Rf ¹⁰⁴ 265 1,55	Db ¹⁰⁵ 268 1,55	Sg ¹⁰⁶ 271 1,56	Bh ¹⁰⁷ 267 1,50	Xs ¹⁰⁸ 269 1,49				
		Rg ¹¹¹ 281 1,53	Cn ¹¹² 285 1,54	Nh ¹¹³ 286 1,53	Fl ¹¹⁴ 289 1,54	Mc ¹¹⁵ 293 1,53	Lv ¹¹⁶ 294 1,51	Ts ¹¹⁷ 294 1,51	Og ¹¹⁸ 294 1,49				

(Fe) and platinum (Pt) – from ruthenium (Ru) to palladium (Pd).

The third block **C** presents the first short pair of rows **4** (includes 10 elements from **K**¹⁹ to **Ni**²⁸) and **5** of the short-period table (includes 8 elements from **Cu**²⁹ to **Kr**³⁶) and the second short pair of rows **6** (includes 10 elements from **Rb**³⁷ to **Pd**⁴⁶) and **7** short-period tables (includes 8 elements from **Ag**⁴⁷ to **Xe**⁵⁴). In the long-period table, a pair of rows **4** and **5** corresponds to period **4**, and a pair of rows **6** and **7** corresponds to period **5**. For the third block, the N:P ratio is less than 1:1.3.

– The fourth block **D** structurally represents the completeness of the cyclic 24 and 8-element periodicity as a block of chemical elements **D**, which additionally included the “families” of lanthanides (**La**) and actinides (**Ac**), as well as two “families”: osmium (**Os**), iridium (**Ir**), platinum (**Pt**) and hassium (**Hs**), maitnerium (**Mt**), darmstadtium (**Ds**).

The fourth block corresponds to the first pair of the long row of lanthanides **8** (includes 24 elements from **Cs**⁵⁵ to **Pt**⁷⁸) and the short row of the short-period table (includes 8 elements from **Au**⁷⁹ to **Rn**⁸⁶) and the second pair of the long row of actinides **10** (includes 24 elements from **Fr**⁸⁷ to **Ds**¹¹⁰) and the short row **11** of the short-period table (includes 8 elements from **Rg**¹¹¹ to **Og**¹¹⁸). In the long-period table, a pair of rows **8** and **9** corresponds to period **6**, and a pair of rows **10** and **11** corresponds to period **7**. “Families” of lanthanides, actinides and some grouped metals require special study and attention of researchers. For block **D**, the N: P ratio is less than 1.55.

Thus, the block structure of the three-dimensional matrix of chemical elements using a three-dimensional coordinate system can provide a significant increase in information content (multidimensionality) compared to short-period and long-period tables of chemical elements.

2. Three-dimensional periodic matrix of chemical elements

Various literary sources draw attention to the contribution to the development of the periodic system of chemical elements by *D.I. Mendeleev, Yu.-L. Mayer, A. Chancourtois, J. Newlands, W. Odling and G. Hiprix* [6].

There may be highlighted the main prerequisites for the creation of the three-dimensional periodic matrix of chemical elements:

- based on the laws of the development of the Universe, the authors propose to consider the structure of the arrangement of chemical elements in the form of an expanding conical spiral. The main initial elements hydrogen and helium are at the beginning of the spiral.
- the spatial spiral provides, in comparison with the tabular form, a sequential continuous arrangement of elements with the possibility of including lanthanides and actinides and all discovered (discovered) and pre-

dicted families. All known structures should find their reflection on the spiral on the basis of a deep study of the short-period and long-period tables, taken as a basis in different countries.

Thus, the three-dimensional matrix showcases:

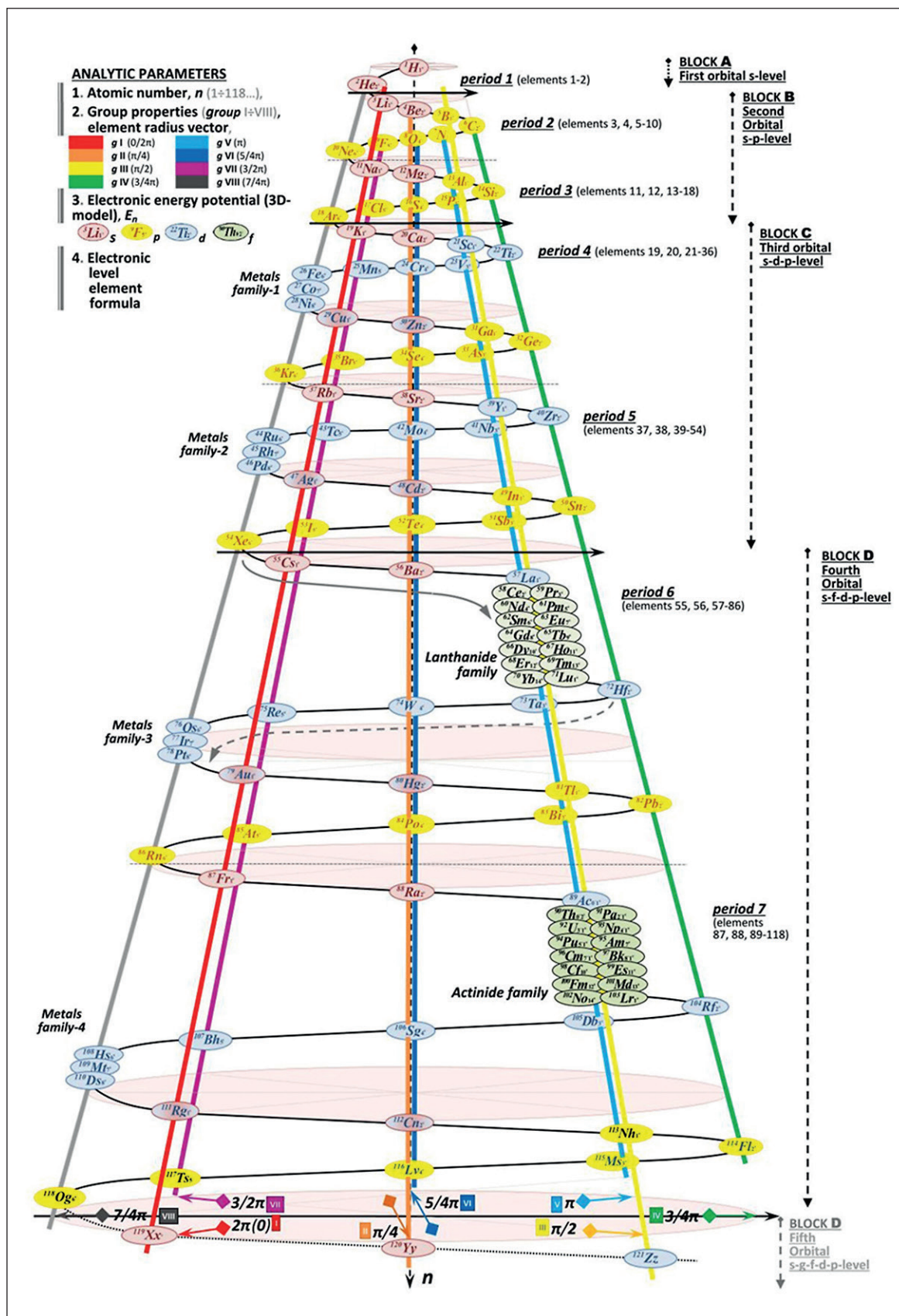
- arrangement of all known elements along the coordinate axes which forms a planetary model of their structure. Atomic numbers *n* with the dimension of a continuous series of natural numbers from 1 to 118 (and more) are evenly arranged along a spiral from top to bottom.
- the ordinal number of the element coincides with the magnitude of the nuclear charge (*Z*) and the same total number of energetically balancing electrons in the orbitals of the shells. The approach is universal for both short-period tables and long-period tables.
- an exponential increase in the number of elements in periods from the first to the eleventh (and further) is shown, which forms a 3D-spiral spatial system of the framework of the matrix of chemical elements (Fig. 2) [4].

The proposed representation of the three-dimensional periodic matrix of chemical elements in the form of an expanding conical spiral is a universal tool that makes it possible to study a large variety of physical and chemical properties of already known and not yet discovered elements and their compounds [5]. The versatility of the three-dimensional matrix also lies in the fact that, in addition to the mandatory serial number and strict coordinate binding of chemical elements to groups, there appears a tremendous potential to structurally analyse physical and chemical properties of elements and the laws of their interaction.

3. Electron characteristics of elements and analysis of their cyclicity in the structure of the volumetric matrix of chemical elements

The spatial form of the Three-dimensional Periodic Matrix made it possible to structure the anomalous families of the **III** (lanthanides and actinides) and **VIII** (metalloids) groups of the third **C** and fourth **D** levels of block periodicity, and the level formulas of electron shells facilitate the study of systemic regularities of periodicity, including the mechanisms of saturation and transition electrons at different energy levels (orbital) of electron shells [2]. The consistency of the periodicity is relevant in the study of fine mechanisms of interlevel transitions and stable failures of the synthesis of electron orbitals (Table 2).

Distribution of electrons over energy levels (states) of shells **K, L, M, N, O, P, Q, X**(EL), consisting of sublevels (orbitals) *s*-, *p*-, *d*-, *f*-, *g*-, *h* - at each level, satisfies the principle of minimum potential energy. The maximum number of electrons at the energy level is calculated by the



formula $R = 2n^2$, where n is the level number or the principal quantum number (1, 2, 3, etc.). Each filled level corresponds to a certain set of sublevels (orbitals) (Table 3).

The sequence of filling the orbitals with electrons is limited by the Madelung rule [12, 13]. Periodicity, as a cycle of valence transformation in a system of chemical

elements, manifests itself in the formation of two successive orbitals – the initial s -orbital and the valence p -orbital – with the number of valence electrons continuously increasing within the periods [8].

Initial are two groups of elements. Group I of chemical elements with one electron at the s' sublevel is Li^1 –

Table 2
The structure of energy levels and sublevels (orbitals) for blocks

Block A – 1 energy level (valence orbital $K^s \equiv 1s^2$) ends with Helium He
Block B – 3 energy levels $K^s L^{s-p} M^{s-p}$ (valence orbital $M^{2-6} \equiv 3s^2 3p^6$) ends with Argon Ar
Block C – 5 energy levels $K^s L^{s-p} M^{s-p-d} N^{s-p-d} O^{s-p}$ (valence orbital $O^{2-6} \equiv 5s^2 5p^6$) ends with Xenon Ксеноном Xe
Block D – 7 energy levels $K^s L^{s-p} M^{s-p-d} N^{s-p-d-f} O^{s-p-d-f} P^{s-p-d} Q^{s-p}$ (valence orbital $Q^{2-6} \equiv 7s^2 7p^6$) ends with Oganesson Og
Predicted energy levels and electronic structure of the orbitals (sublevels) of Block E
Block E – 9 energy levels are predicted. from №119 to №218 $K^s L^{s-p} M^{s-p-d} N^{s-p-d-f} O^{s-p-d-f-g} P^{s-p-d-f-g} Q^{s-p-d-f-g} R^{s-p-d-f-g} X^{s-p}$ (valence orbital $X^{2-6} \equiv 9s^2 9p^6$) ends with element № 218

Table 3
Principal quantum number, types and number of orbitals, maximum number of electrons at sublevels and levels

Energy level (n)	Number of sublevels (n)	Orbital type	Number of orbitals		Maximum number of electrons	
			In sublevel	In level, equals to n^2	In sublevel	In level, equals to $2n^2$
K (n = 1)	1	1s	1	1	2	2
L (n = 2)	2	2s 2p	1 3	4	2 6	8
M (n = 3)	3	3s 3p 3d	1 3 5	9	2 6 10	18
N (n = 4)	4	4s 4p 4d 4f	1 3 5 7	16	2 6 10 14	32

Fr^{87} , etc. The filling of the s^1 sublevel with the first electron indicates (signals) the completion of the filling of the valence shell of the previous period. The second group of chemical elements with two electrons at the s^2 – sublevel are Be^4 – Ra^{88} , etc. The filling of the s^2 -sublevel with two electrons shows its saturation and the forthcoming formation of the p -valence shell sublevel, starting with the first electron of the p^1 – sublevel and the subsequent set of sublevels of the valence period. For clarity and convenience of analysis, electronic formulas of chemical elements were used.

Thus, the unification of elements in new periods begins with a systemically bound pair of chemical elements of groups **I** and **II**, showing the completion of the filling of the valence electron shells of the atoms of the elements of the previous period and the readiness for the formation of the valence electron shell of the new period. In this case, in the chemical elements of group **I**, an act of formation of a new two-electron initial orbital of the ns sublevel of the corresponding energy level (from K, L, M, N, P, O, Q, X) occurs by filling the formed energy shell with the first electron (ns^1 , electronic formula designation $K, L1, M1$, etc.), and in the subsequent chemical element of group **II**, the same atomic orbital is filled with a second saturating electron (ns^2 , electronic formula designation $K2, L2, M2$, etc.), forming a stable pair electrons of the outer atomic orbital. This initial pair completes the filling of the Is^2 sublevel, after which the next layers of the corresponding energy level of the periodic sequence of chemical elements of the Three-dimensional matrix are filled.

On the other hand, the filling of the outer atomic orbital with a stable pair of electrons always precedes the onset of the formation of a new layer of the valence shell of the atom. The initial elements of all periods of the matrix form new periods, on a new valence orbital ($np1$), by filling the corresponding energy level with the first electron and reflect the periodic laws of the formation of the elements of the material world. The mechanism of block periodicity of filling atomic orbitals is present at all levels of the Three-dimensional periodic matrix of chemical elements.

According to the regularities of the periodicity of the formation of chemical elements, a special role is seen for the initial atomic orbitals of two successive elements. The first element of the pair states the completion of the stable state formation in the structure of the electronic layers of the previous, fully completed period with the limiting filling of the shells of all energy levels with electrons. All first elements are odd. Best practices confirm that the electronic layers of elements shells of a fully completed period have a high degree of resistance to external energy influences and a clear gravitation to stationary interaction with the energy field of the atomic nucleus [9, 12]. This regularity implies the indifference of the electronic layers

of extremely filled atomic shells to the manifestation of valence (chemical interaction).

The second element is a harbinger of the formation of new electronic layers of elements in the subsequent period, consisting of electrons of energy levels new shells. All second elements are even. The electronic layers of the shells of the elements of the forming period do not have a high degree of resistance to external energy influences and have a lesser tendency to interact with the energy field of the atomic nucleus. This regularity implies the ability of the outer electronic layers of the unfilled shells of atoms to manifest polyvalence when combined into molecules.

The first elements of the valence p -orbitals of the new period in each energy level form elements with a p^1 -orbital with one valence electron (B^5 – Nh^{113} , etc.). All such elements are odd and belong to group **III** of chemical elements. The second element – with two valence electrons of the $p2$ -orbital in each energy level (C^6 – Fl^{114} , etc.). All elements are even and belong to group **IV** of chemical elements. The subsequent elements with three valence electrons of the p^3 orbital and a different number of electrons of the valence orbital in each energy level are structured similarly, belonging to groups **V**, **VI**, **VII** and **VIII** of chemical elements, respectively.

The regularities of the formation of models of electronic shells of atoms using electronic-level formulas allow, on the basis of the block approach and structural analysis, to predict chemical elements beyond the 118th element, to form the structure of new periods, starting with the chemical elements of the 11th period of D.I. Mendeleev Table or the 8th period of the IUPAC table [15]. The electron-orbital formulas assume, based on the block approach, an extremely abbreviated description of the structure of chemical elements.

4. Prediction of new chemical elements

Of the known chemical elements in the short-period system, only 83 are found on Earth, the lightest of which is hydrogen (its atomic number is $Z = 1$), and the heaviest is uranium ($Z = 92$). Obviously, only those elements survived in the solar system and on the planet Earth, the lifetime of which is longer than the age of the Earth (4.5 billion years). Others broke up and did not survive to this day. Uranus, which has a half-life of about 4.5 billion years, is still decaying. It is a radioactive element [16]. In nature, stable formations (nuclei of elements, consisting of different numbers of protons and neutrons) exist only up to lead and bismuth, followed by a small area that includes thorium and uranium found on Earth. But as soon as the serial number of an element exceeds the number of uranium, its lifetime decreases sharply. For example, the nucleus of element 100 is 20 times less stable than the nucleus of uranium, and this instability only intensifies further due to the spontaneous nuclear

fission. With further attempts to obtain new elements, scientists around the world face the increasing difficulty of synthesis [18–20]. And only a small part of nuclear research ends with the successful synthesis of a new element. No laboratory can be compared with a neutron star, which can create other forms of matter. During the life of stars there take place nuclear reactions that are beyond the human's power. Scientists are trying to find new types of elements, but experiments in search of “natural” super-heavy elements still continue [17]. There arises a question: What is the practical use of such an expensive event to create new unstable elements? Despite this, the development of experimental methods for the transformation of elements led to the expansion of the periodic tables at the expense of transuranic elements, the problem of the table boundary remains one of the most fundamental in modern theoretical chemistry.

The orbital structure representation formulated by the authors makes it possible to predict the block pattern for the emergence of new elements, with the formation of families of lactanoids, actinides and other with *d*-, *f*-, *g*-, *h*-orbitals in the reverse order between *s*- and *p*-orbitals

in the third group. There is a special prospect to predict chemical elements of the families of group **III** outside block **D**. The reason is that if the cyclic families of lanthanides and actinides of group **III** in the paired block **D** consist of **14 f**-elements in each period, then the families of elements in the paired block **E** will consist of **32 g**-elements in each period, and the families of elements in the paired block **F** will consist of **54 h-g-f**-elements in each period, etc. [15]

The issues that determine the possibility of the predicted elements existence in special physical conditions have not been considered yet. However, taking into account the “theory of stability areas”, supported by the discoverer of the element Og^{118} , Academician of the Russian Academy of Sciences Yu. Ts. Oganessian, such existence of potential chemical elements is possible [16, 17], and the question of predicting new elements arises again. The structural analysis allows to predict the structure of so far unknown elements of the periodic system within 119–168 elements of the 8th period and within 169–218 elements of the 9th period of the block structure **E**, as well as within 219–290 elements of the 10th period and

Table 4
Block structural analysis for D.I. Mendeleev Table with blocks E and F

Block	Groups of chemical elements								IX	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
A	H ¹							He ²		
B	Li ³ Na ¹¹	Be ⁴ Mg ¹²	B ⁵ Al ¹³	C ⁶ Si ¹⁴	N ⁷ P ¹⁵	O ⁸ S ¹⁶	F ⁹ Cl ¹⁷	Ne ¹⁰ Ar ¹⁸		
C	K ¹⁹ Rb ³⁷ Cs ⁵⁵	Ca ²⁰ Sr ³⁸ Ba ⁵⁶	Sc ²¹ Y ³⁹ La ⁵⁷	Ti ²² Zr ⁴⁰ Hf ⁷²	V ²³ Nb ⁴¹ Ta ⁷³	Cr ²⁴ Mo ⁴² W ⁷⁴	Mn ²⁵ Tc ⁴³ Re ⁷⁵	Fe ²⁶ Ru ⁴⁴ Os ⁷⁶	Co ²⁷ Rh ⁴⁵ Ir ⁷⁷	Ni ²⁸ Pd ⁴⁶ Pt ⁷⁸
D										
E	119	120	153	154	155	156	157	158	159	160
F	219	220	275	276	277	278	279	280	281	282
	283	284	285	286	287	288	289	290		
	291	292	347	348	349	350	351	352	353	354
	355	356	357	358	359	360	361	362		

Lanthanides															Block D of group III families																
Actinides																															
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
g = 18															Block E of group III families										f = 14						
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202
g = 18																									f = 14						
221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
h = 22															Block F of group III families										f = 14						
293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324
h = 22																									f = 14						

Table 5

Comparison of Mendeleev's Tables, IUPAC and VMCE

Mendeleev Table	IUPAC Table	VMCE/ GYS	Novelty
no cell continuity		complete continuity (no empty cells)	3D-Matrix model – continuously expanding eight-sector spiral
I – II – III ÷ VIII	I ÷ XVIII	I – II – III – IV ÷ VIII	is based on 8 valence groups of elements
lanthanides and actinides are taken out of the tables		families of group III are part of matrices and are presented in table 2	all families of chemical elements are included in group III
{La}, {Ac}	{La}, {Ac}		
K-L-M-N-	K-L-M-N-	K-L-M-N- and new levels (O-P-Q-)	energy levels of chemical elements
He², Ne¹⁰, Zn³⁰, Yb⁷⁰	He², Ne¹⁰, Zn³⁰, Yb⁷⁰	He², Ne¹⁰, Zn³⁰, Yb⁷⁰, (Yn¹³⁸)	boundary elements with complete electronic structure
no forecast of new elements		structural ordinal analysis is not limited	Forecasting of new chemical elements

within 291–362 elements of the **11th** period of the block structure **F** and subsequent blocks.

For the first time, a preliminary structural analysis of a short-period table is presented based on the forecast of four new periods of predicted chemical elements (Table 4). Thus, the idea of block structure made it possible to substantiate electronic-level formulas, including the alleged new chemical elements of the **5th** block **E** with numbers 119 to 218 and further.

Further the use of digital models for research in chemistry will be considered, which can significantly increase the effectiveness of computer modelling methods. Taking into account the crucial role of materials science, it is appropriate to conclude: “*whoever masters the digital system first can become a leader in many spheres of human life.*”

CONCLUSION (MAIN CONCLUSIONS)

1. The periodic law and its representation in the form of tables of chemical elements is **the greatest discovery in chemistry**. DI Mendeleev's two-dimensional tables of chemical elements and IUPAC table played a huge role in the development of chemistry. However, the fact that there are currently more than **500 options** for their modernization, including the statements of N.N. Semyonov, indicate the **need to continue work** in this direction at a **new level** of comprehension.

2. First of all, it is the **formation of a physical model** for the probable **origin of chemical elements**. The concept of the Universe as an expanding system presented in the work of Stephen Hawking and Martin Rees is a compelling evidence for it. In our opinion, the physical interpretation (model) of the origin and development of the

Universe makes it possible to formulate a more general concept of the structuring process of chemical elements and its representation in the form of an expanding conical spiral as well as to draw a number of new conclusions.

3. Like the Universe, the proposed three-dimensional Periodic Matrix is an expanding system (spiral) and a continuous sequence in the arrangement of elements from hydrogen (1) and helium (2) to Oganesson (118) with the inclusion of lanthanides and actinides in it and possible inclusion of other information with the preservation of the periodicity for the groups of elements and the valence framework of the matrix, proposed by D.I. Mendeleev. **Hydrogen and helium are obviously structural elements** and all other elements were formed on their basis.

4. The authors formulated the concept of cyclicity in the arrangement of the horizontal levels of chemical elements in the blocks of the Three-dimensional matrix of chemical elements. Each of the blocks provides an approximate equality of the neutrons – protons mass ratio in the nuclei of chemical elements. **There has been formulated the pattern of 4 levels of block cyclic structure in the existing system of chemical elements**. The blocks additionally include all cluster formations, as well as the families of lanthanides and actinides. New regularities of periodicity in the block matrix structure of chemical elements from block **A** to block **D** were obtained, combining the periods presented in the tables of chemical elements by D.I. Mendeleev and IUPAC.

5. On the basis of **cyclicity**, the **structures of the electron shells** for the known 118 elements in four blocks **A**, **B**, **C**, **D** are presented, which also makes it possible to obtain electron-orbital formulas, including for new elements (119–218) of block **E** of the periodic system and

the subsequent block F. In block E, for 100 new elements their **atomic numbers** and **nuclear masses** are presented. Elements 119 and 218 could be named after N.N. Semenov Sm¹ and Sm².

6. It should be noted that a **progressive amount of new elements** is in group III of the three-dimensional matrix and special attention should be paid to the formation of chemical elements in this group for blocks C, D and subsequent ones, the number of which is progressively increasing for new blocks E and F. This circumstance *100 years ago made it necessary* to move the groups of lanthanides and actinides outside the tables of D.I. Mendeleev and IUPAC.

7. Thus, the three-dimensional matrix of chemical elements is a **more general structure to further generalize main features of chemical elements** (their valence, polyvalence and valence abodes in the tables of D.I. Mendeleev and IUPAC). Its volume and the concept of cyclicity made it possible to make such a generalization, and the **tabular forms of D.I. Mendeleev and IUPAC** are presented in its composition (Table 5).

8. The use of the three-dimensional matrix of chemical elements allows to apply mathematical methods and **create digital models** for the interaction of chemical elements with each other, which will make it possible to obtain new types of molecules for new materials.

REFERENCES

1. Mendeleev D.I. *Fundamentals of Chemistry*. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Chemical Literature. In 2 volumes. 13th edition. 1947.
2. Semyonov N.N. *Chemistry and Electronic Phenomena*. (UFN, 4 .1924). Selected Works, Vol.2. Moscow: Science; 2005.
3. Gusev B.V., Ying Yen-Liang S., Speransky A.A. *Three-Dimensional Matrix of Chemical Elements*. Moscow: RAE; 2021.
4. Gusev B.V., Speransky A.A. Regularities of the Block Approach for the Analysis of the Structure of Chemical Elements and the Problems of Materials Science. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(1): 76–88.
5. Gusev B.V., Ying Yen-Liang S., Speransky A.A. Block Structure of Periodicity and Forecasting of New Chemical Elements. *Industrial and Civil construction*. 2021. Available from: [doi: 10.33622/0869-7019](https://doi.org/10.33622/0869-7019).
6. Gladyshev V.P. Current State and Methodological Significance of the Periodic Table of Chemical Elements. Tomsk State Pedagogical University. *Bulletin of TSPU*. 2000; 2 (18). Series: Natural Sciences (Special Issue): 28–32.
7. *General and inorganic chemistry. Vol. 1. Theoretical Foundations of Chemistry. Textbook for universities in 2 volumes*. Ed. A.F. Vorobyov. Moscow: ICC “Akademkniga”; 2004.
8. Coulson C. *Valence*. Moscow: 1965.
9. Kuznetsov V.I. *General chemistry. Development Trends [Scientific Population]*. Moscow: Higher school; 1989.
10. Rees M. *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe*. Moscow: Alpina non-fiction; 2018.
11. Stephen Hawking. *About the universe in a nutshell*. OGIZ. Moscow: Publishing house AST.
12. Dickerson R., Gray G., Hight J. *Basic laws of chemistry*. Moscow: Mir; 1993.
13. Novoshinskiy I.I., Novoshinskaya N.S. *Chemistry. Advanced level*. Textbook. Russian word. Series: Innovation School. 2018.
14. Korablev T.P., Korolkov D.V. *Theory of the Periodic System*. Saint-Petersburg: University Publishing House; 2005.
15. Gusev B.V. New ideas on the three-dimensional matrix of chemical elements and the possibility of the existence of 100 additional new elements. In: Second International Kosygin Readings “Energy-Resource-Efficient Environmental Safe Technologies and Equipment”. Materials of the plenary session. Moscow: RSU; 2019.
16. *History of the synthesis of superheavy elements. The materials prepared on the basis of information from RAE*. Available from: <https://ria.ru/20111201/503670512.html>
17. Maksimchuk A. “The area of stability” among chemical elements. Especially for R&D. Available from: <https://maxpark.com/community/6285/content/2676531>.
18. Hartree D. *Calculations of atomic structures*. Moscow: Publishing House of Foreign Literature; 1960.
19. Zahed Allahyari, Artem R. Oganov. Nonempirical Definition of the Mendeleev Numbers: Organizing the Chemical Space. *Journal of Physical Chemistry C*. 2020; 124 (43): 23867–23878.
20. Audi G., Kondev F. G., Wang M., Huang W. J., Naimi S. The Nubase2016 evaluation of nuclear properties. *Chinese Physics C*. 2017; 41(3): 030001-1–030001-138.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boris V. Gusev – Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President of the International and Russian Academies of Engineering, Moscow, Russia, info-rae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2718-9539>

Samuel Y.-L. Yin – Doctor of Business Administration, Founder of the Tang Prize, Chairman of Ruentex Group, Chief R&D officer and Chief Engineer of Ruentex Engineering & Construction Co., Ltd., Honorary President of the International Academy of Engineering, Foreign Member of the Russian Academy of Engineering, Taipei, Taiwan, info_tciae@mail.ru

Anatoly A. Speransky – Doctor of Expertise in ISCED UNESCO, Professor, Vice President of the Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia, vibro-vector@yandex.ru

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 03.09.2021; approved after reviewing 27.09.2021; accepted for publication 04.10.2021.



Структурирование химических элементов по объемной матрице

Борис Владимирович Гусев^{1*}, Самуэл Иен-Лян Ин², Анатолий Алексеевич Сперанский¹

¹ Российская инженерная академия, Москва, Россия

² Научно-исследовательский центр Ruentex Engineering & Construction Co., Тайбэй, Тайвань

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: info-rae@mail.ru

АННОТАЦИЯ: В статье отмечается, что благодаря открытию Д.И. Менделеева и существующей уже более 150 лет Периодической таблице химических элементов, а также международной таблице IUPAC активно развивалась и развивается химия. Предложено новое видение структурирования химических элементов в виде объемной матрицы. Это позволяет прогнозировать новые элементы с обозначением ядерных масс и электронным строением оболочек. Сформулированы новые закономерности по цикличности и блочности строения горизонтальных рядов, уточнено строение вертикальных групп и их физическое осмысливание.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цикличность и блочность, объемная матрица химических элементов, ядерные массы, протонно-нейтронное строение ядер, электронные уровни, электронные характеристики уровней и подуровней (орбиталей), прогноз новых элементов.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гусев Б.В., Ин С.И.-Л., Сперанский А.А. Структурирование химических элементов по объемной матрице // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 5. С. 282–292. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-282-292>

ВВЕДЕНИЕ

Периодический закон и его представление в виде таблиц химических элементов Д.И. Менделеева и международной IUPAC — это выдающееся открытие человечества. В конце 2019 года все мировое научное сообщество под эгидой ООН отмечало 150-летний юбилей этого события. В настоящее время в таблицах представлены 118 элементов, однако в натуральном виде встречаются далеко не все, так как некоторые получены искусственным путем. Авторами написана новая работа по Объемной матрице химических элементов [3].

Рассмотрены представления о Вселенной, и для описания возникновения химических элементов принята **физическая модель взрыва и расширяющейся Вселенной**, поставлена задача описать их в виде Объемной расширяющейся матрицы химических элементов. В вершине матрицы представлены водород (H) и гелий (He) как основа создания всех последующих элементов, и далее по расширяющейся спирали рас-

положены другие элементы, а групповые принципы валентностей являются гранями такого построения.

Другим важнейшим моментом является общее представление о **возникновении** и развитии Вселенной, **всего неживого и живого** в ней **по спирали** [10, 11]. Если для живой природы это очевидно, то для неживой природы сделано предположение, что кирпичиками этой спирали могут быть химические элементы, которые будут в дальнейшем при взаимодействии между собой образовывать молекулы. Из молекул формируется весь материальный неорганический мир. А далее уже происходят природные процессы, создание живой материи: растений, животных и людей. Таким образом, все развитие минерального и живого мира протекает по спиралям.

В представленных обобщениях показано, что **при структурировании системы химических элементов**, помимо периодичности образования валентных групп внешних орбиталей, предпочтительными являются **представления о цикличности и блочном структурировании элементов по горизонтали**.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Цикличность и блочность в структуре химических элементов

В основу современной периодической системы положен заряд ядра (Z), определяющий место элемента в системе [1, 13, 14]. Ядерная периодичность выражается в периодическом изменении свойств ядер атомов. Основным параметром, определяющим эту периодичность, является число протонов (P) и нейтронов (N) в ядре. На рис. 1 представлена зависимость массы ядер элементов (протоны и нейтроны) и массы нейтронов для открытых 118 химических элементов.

Авторами подсчитаны соотношения количества нейтронов и протонов в ядрах химических элементов. В короткопериодной таблице 1a представлены усредненные показатели этих соотношений для блоков. Следует обратить внимание, что эти усредненные величины для блоков равны как в короткопериодной таблице, так и в таблице IUPAC (табл. 1b). Поэтому **блочная структура**, по нашему мнению, соответствует понятию **цикличности** — завершенности системы периодичности двух периодов, включая семейства лантаноидов и актиноидов.

Изучение Объемной периодической матрицы химических элементов на основе многопараметрической системы координат наглядно демонстрирует устойчивое формирование **блочных закономерностей**

в **циклической периодичности** свойств химических элементов в периодах и блоках с увеличением их порядковых номеров и объединяет все описанные ранее варианты периодичности [4, 7]. Следует отметить, что понятия «период» двух видов таблиц идентичны (их по 7), но важным обстоятельством, требующим особого внимания, является явное несоответствие «рядов» групповому валентному принципу периодичности в длиннопериодной таблице.

В работах [3, 4] сделан вывод, что 3D-спирально расходящаяся система матрицы химических элементов имеет 4 блока периодичности и 7 периодов. Анализ структуры периодообразования подтверждает, что периоды можно разделить на простые, в которых образуются по одному элементу в каждой группе (2 элемента с внешней сигнальной орбиталью и 6 элементов с внешней валентной орбиталью, всего 8 в периоде), и более сложные, содержащие сгруппированные «семейства» элементов внутри одной группы (III или VIII). Таким образом, по блокам все можно представить следующим образом (табл. 1):

— Первому блоку **A** соответствуют короткие одноэлементные периоды (и ряды **0–1**) матрицы, где представлены первые элементы водород и гелий (H^1 -водород и He^2 -гелий). Для первого блока соотношение нейтронов (N) к протонам (P) можно принять равным 1.

— Вторым блоком **B** структурно позиционирует завершенность циклической восьмиэлементной пери-

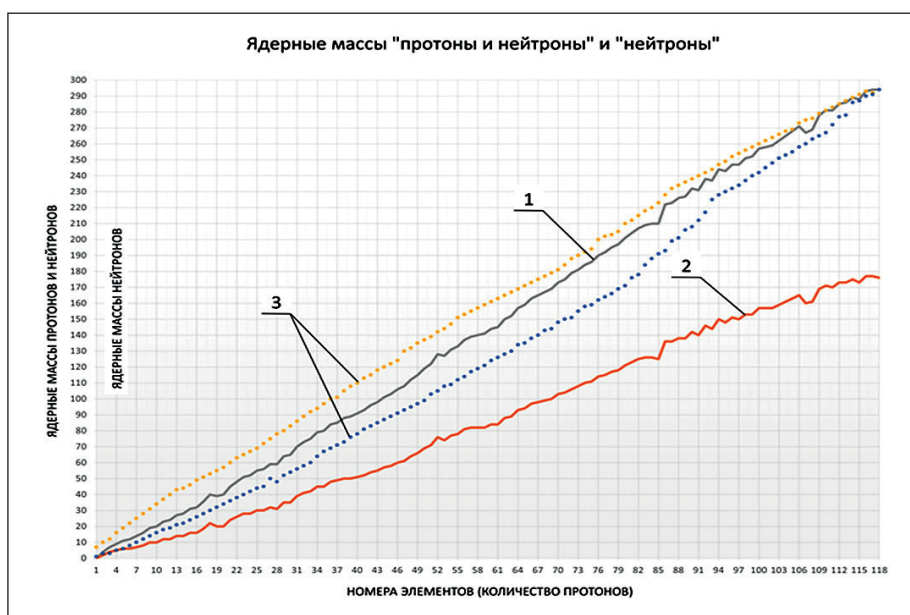


Рис. 1. Зависимости ядерных масс (протоны и нейтроны) и массы нейтронов (нейтроны) для 118 химических элементов: 1 — количество протонов и нейтронов; 2 — количество нейтронов; 3 — изотопы

Таблица 1

Соотношение нейтронов и протонов в ядрах атомов химических элементов

а) Таблица Д.И. Менделеева

Соотношение нейтронов (n) / протоны (p)	Блоки, периоды / ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	A	H ¹ 1,008 1							
менее 1,1	B	3 Li 7 1,33	4 Be 9 1,25	5 B 11 1,20	6 C 12 1,0	7 N 14 1,0	8 O 16 1,0	9 F 19 1,11	10 Ne 20 1,0
	B	11 Na 23 1,09	12 Mg 24 1,0	13 Al 27 1,08	14 Si 28 1,0	15 P 31 1,07	16 S 32 1,0	17 Cl 35 1,09	18 Ar 40 1,22
	B	19 K 39 1,05	20 Ca 40 1,0	21 Sc 45 1,14	22 Ti 48 1,18	23 V 51 1,22	24 Cr 52 1,17	25 Mn 55 1,20	26 Fe 56 1,15
менее 1,3	C	29 Cu 63 1,21	30 Zn 65 1,17	31 Ga 70 1,26	32 Ge 73 1,28	33 As 75 1,27	34 Se 79 1,32	35 Br 80 1,29	36 Kr 84 1,33
	C	37 Rb 85 1,32	38 Sr 88 1,32	39 Y 89 1,28	40 Zr 91 1,28	41 Nb 93 1,27	42 Mo 96 1,29	43 Tc 98 1,28	44 Ru 101 1,30
	C	47 Ag 108 1,30	48 Cd 112 1,33	49 In 115 1,35	50 Sn 119 1,38	51 Sb 122 1,39	52 Te 128 1,46	53 I 127 1,40	54 Xe 131 1,43
менее 1,55	D	55 Cs 133 1,42	56 Ba 137 1,45	57 La 139 1,44	58 Ce 140 1,42	59 Pr 141 1,41	60 Nd 144 1,40	61 Pm 145 1,38	62 Sm 150 1,42
	D	79 Au 197 1,49	80 Hg 201 1,50	81 Tl 204 1,52	82 Pb 207 1,52	83 Bi 209 1,52	84 Po 210 1,50	85 At 210 1,47	86 Rn 222 1,58
	D	87 Fr 223 1,56	88 Ra 226 1,57	89 Ac 227 1,55	90 Th 232 1,58	91 Pa 231 1,53	92 U 238 1,59	93 Np 237 1,55	94 Pu 244 1,60
менее 1,55	D	111 Nh 281 1,53	112 Ds 285 1,54	113 Fl 286 1,53	114 Mc 288 1,50	115 Lv 293 1,53	116 Ts 294 1,51	117 Og 294 1,49	118 Og 294 1,49
	D	111 Nh 281 1,53	112 Ds 285 1,54	113 Fl 286 1,53	114 Mc 288 1,50	115 Lv 293 1,53	116 Ts 294 1,51	117 Og 294 1,49	118 Og 294 1,49
	D	111 Nh 281 1,53	112 Ds 285 1,54	113 Fl 286 1,53	114 Mc 288 1,50	115 Lv 293 1,53	116 Ts 294 1,51	117 Og 294 1,49	118 Og 294 1,49

58 Ce 140 1,41	82 Pr 141 1,39	82 Nd 144 1,40	84 Pm 145 1,38	84 Sm 150 1,42	88 Eu 152 1,41	89 Gd 157 1,45	93 Tb 159 1,45	94 Dy 163 1,47	97 Ho 165 1,46	98 Er 167 1,46	99 Tm 169 1,45	100 Yb 173 1,47	103 Lu 175 1,46	104 Lu 175 1,46
90 Th 232 1,58	91 Pa 231 1,53	92 U 238 1,59	93 Np 237 1,55	94 Pu 244 1,60	95 Am 243 1,56	96 Cm 247 1,57	97 Bk 247 1,55	98 Cf 251 1,56	99 Es 252 1,55	100 Fm 257 1,57	101 Md 258 1,55	102 No 259 1,54	103 Lr 262 1,54	104 Lr 262 1,54

б) Таблица IUPAC

Соотношение нейтронов (n) / протоны (p)	Блок, период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
1,0	A	H ¹ 1,008 1																	2 He 4 1,0
менее 1,1	B	3 Li 7 1,33	4 Be 9 1,25																
	B	11 Na 23 1,09	12 Mg 24 1,0																
	B	19 K 39 1,05	20 Ca 40 1,0	21 Sc 45 1,14	22 Ti 48 1,18	23 V 51 1,22	24 Cr 52 1,17	25 Mn 55 1,20	26 Fe 56 1,15	27 Co 59 1,19	28 Ni 60 1,11	29 Cu 64 1,21	30 Zn 65 1,17	31 Ga 70 1,26	32 Ge 73 1,28	33 As 75 1,27	34 Se 79 1,32	35 Br 80 1,29	36 Kr 84 1,33
менее 1,3	C	37 Rb 85 1,32	38 Sr 88 1,32	39 Y 89 1,28	40 Zr 91 1,28	41 Nb 93 1,27	42 Mo 96 1,29	43 Tc 98 1,28	44 Ru 101 1,30	45 Rh 103 1,29	46 Pd 106 1,30	47 Ag 108 1,30	48 Cd 112 1,33	49 In 115 1,35	50 Sn 119 1,38	51 Sb 122 1,39	52 Te 128 1,46	53 I 127 1,40	54 Xe 131 1,43
	C	37 Rb 85 1,32	38 Sr 88 1,32	39 Y 89 1,28	40 Zr 91 1,28	41 Nb 93 1,27	42 Mo 96 1,29	43 Tc 98 1,28	44 Ru 101 1,30	45 Rh 103 1,29	46 Pd 106 1,30	47 Ag 108 1,30	48 Cd 112 1,33	49 In 115 1,35	50 Sn 119 1,38	51 Sb 122 1,39	52 Te 128 1,46	53 I 127 1,40	54 Xe 131 1,43
	C	37 Rb 85 1,32	38 Sr 88 1,32	39 Y 89 1,28	40 Zr 91 1,28	41 Nb 93 1,27	42 Mo 96 1,29	43 Tc 98 1,28	44 Ru 101 1,30	45 Rh 103 1,29	46 Pd 106 1,30	47 Ag 108 1,30	48 Cd 112 1,33	49 In 115 1,35	50 Sn 119 1,38	51 Sb 122 1,39	52 Te 128 1,46	53 I 127 1,40	54 Xe 131 1,43
менее 1,55	D	55 Cs 133 1,42	56 Ba 137 1,45	57 La 139 1,44	58 Ce 140 1,42	59 Pr 141 1,41	60 Nd 144 1,40	61 Pm 145 1,38	62 Sm 150 1,42	63 Eu 152 1,41	64 Gd 157 1,45	65 Tb 159 1,45	66 Dy 163 1,47	67 Ho 165 1,46	68 Er 167 1,46	69 Tm 169 1,45	70 Yb 173 1,47	71 Lu 175 1,46	72 Lu 175 1,46
	D	87 Fr 223 1,56	88 Ra 226 1,57	89 Ac 227 1,55	90 Th 232 1,58	91 Pa 231 1,53	92 U 238 1,59	93 Np 237 1,55	94 Pu 244 1,60	95 Am 243 1,56	96 Cm 247 1,57	97 Bk 247 1,55	98 Cf 251 1,56	99 Es 252 1,55	100 Fm 257 1,57	101 Md 258 1,55	102 No 259 1,54	103 Lr 262 1,54	104 Lr 262 1,54
	D	87 Fr 223 1,56	88 Ra 226 1,57	89 Ac 227 1,55	90 Th 232 1,58	91 Pa 231 1,53	92 U 238 1,59	93 Np 237 1,55	94 Pu 244 1,60	95 Am 243 1,56	96 Cm 247 1,57	97 Bk 247 1,55	98 Cf 251 1,56	99 Es 252 1,55	100 Fm 257 1,57	101 Md 258 1,55	102 No 259 1,54	103 Lr 262 1,54	104 Lr 262 1,54

одичности, которому соответствуют простые периоды (и ряды) 2 (включает 8 элементов с Li³ по Ne¹⁰) и 3 матрицы (включает 8 элементов с Na¹¹ по Ar¹⁸). Для второго блока N:P менее 1,1.

— Третий блок C структурно представляет завершенность циклической 10-и и 8-элементной периодичности в блоке, появились два дополнительных

«семейства»: от железа (Fe) до платины (Pt) и от рутения (Ru) до палладия (Pd).

В третьем блоке C представлены первая короткая пара рядов 4 (включает 10 элементов с K¹⁹ по Ni²⁸) и 5 короткопериодной таблицы (включает 8 элементов с Cu²⁹ по Kr³⁶) и вторая короткая пара рядов 6 (включает 10 элементов с Rb³⁷ по Pd⁴⁶) и 7 коротко-

периодной таблицы (включает 8 элементов с Ag^{47} по Xe^{54}). В длиннопериодной таблице паре рядов 4 и 5 соответствует период 4, а паре рядов 6 и 7 соответствует период 5. Для третьего блока соотношение N:P менее 1:1,3.

— Четвертый блок **D** структурно представляет завершенность циклической 24-х и 8-элементной периодичности в качестве блока химических элементов **D**, в который дополнительно вошли «семейства» лантаноидов (**La**) и актиноидов (**Ac**), а также два «семейства»: осмий (**Os**), иридий (**Ir**), платина (**Pt**) и хассий (**Hs**), мейтнерий (**Mt**), darmstadtium (**Ds**).

Четвертому блоку соответствует первая пара длинного ряда лантаноидов 8 (включает 24 элемента с Cs^{55} по Pt^{78}), и короткого ряда 9 короткопериодной таблицы (включает 8 элементов с Au^{79} по Rn^{86}), и вторая пара длинного ряда актиноидов 10 (включает 24 элемента с Fr^{87} по Ds^{110}), и короткого ряда 11 короткопериодной таблицы (включает 8 элементов с Rg^{111} по Og^{118}). В длиннопериодной таблице паре рядов 8 и 9 соответствует период 6, а паре рядов 10 и 11 соответствует период 7. «Семейства» лантаноидов, актиноидов и некоторых сгруппированных металлов требуют особого изучения и внимания исследователей. Для блока **D** соотношение N:P менее 1,55.

Таким образом, блочная структура Объемной матрицы химических элементов с использованием трехмерной системы координат может обеспечить существенное повышение информативности (многомерности) по сравнению с короткопериодной и длиннопериодной таблицами химических элементов.

2. Объемная периодическая матрица химических элементов

В различных литературных источниках отмечается вклад в развитие периодической системы химических элементов *Д.И. Менделеева, Ю.Л. Мейера, А. Шанкуртуа, Дж. Ньюлендса, В. Одлинга* [6].

Можно выделить основные предпосылки для создания Объемной периодической матрицы химических элементов:

- исходя из закономерностей развития Вселенной авторы предлагают рассматривать структуру расположения химических элементов в виде расширяющейся конической спирали. В начале спирали располагаются основные первоначальные элементы — водород и гелий;
- пространственная спираль обеспечивает, по сравнению с табличной формой, последовательное непрерывное расположение элементов с возможностью включения лантаноидов, актиноидов и всех обнаруженных (открытых) и прогнозируемых семейств. На спирали должны найти свое

отображение все известные структуры на основании глубокого изучения короткопериодной и длиннопериодной таблиц, принятых за основу в разных странах.

Таким образом, в основе Объемной матрицы представлены:

- Распределение всех известных элементов по осям координат, что формирует планетарную модель их строения. Атомные номера n с размерностью непрерывного ряда натуральных чисел от 1 до 118 (и более) равномерно распределены по спирали сверху вниз.
- Порядковый номер элемента совпадает с величиной заряда ядра (Z) и таким же суммарным количеством энергетически уравнивающих электронов на орбиталях оболочек. Подход универсален как для короткопериодной, так и для длиннопериодной таблицы.
- Показано прогрессивное увеличение количества элементов в периодах с первого по одиннадцатый (и далее), что образует 3D-спиральную пространственную систему каркаса матрицы химических элементов (рис. 2) [4].

Предлагаемое представление Объемной периодической матрицы химических элементов в виде расширяющейся конической спирали является универсальным инструментом, который позволяет изучать большое многообразие физико-химических свойств уже известных и еще не открытых элементов и их соединений [5]. Универсальность объемной матрицы еще и в том, что помимо обязательного порядкового номера и строгой координатной привязки химических элементов к группам появляются широкие возможности структурного анализа физико-химических свойств элементов и закономерностей их взаимодействия.

3. Электронные характеристики элементов и анализ их цикличности в структуре Объемной матрицы химических элементов

Пространственная форма Объемной периодической матрицы позволила структурировать аномальные семейства **III-й** (лантаноиды и актиноиды) и **VIII-й** (металлоиды) групп третьего **C** и четвертого **D** уровней блочной периодичности, а уровневые формулы электронных оболочек облегчают изучение системных закономерностей периодичности, включая механизмы насыщения и перехода электронов по разным энергетическим уровням (орбитали) электронных оболочек [2, 3]. Системность периодичности актуальна при изучении тонких механизмов межуровневых переходов и устойчивых сбоев процесса синтеза электронных орбиталей (табл. 2).

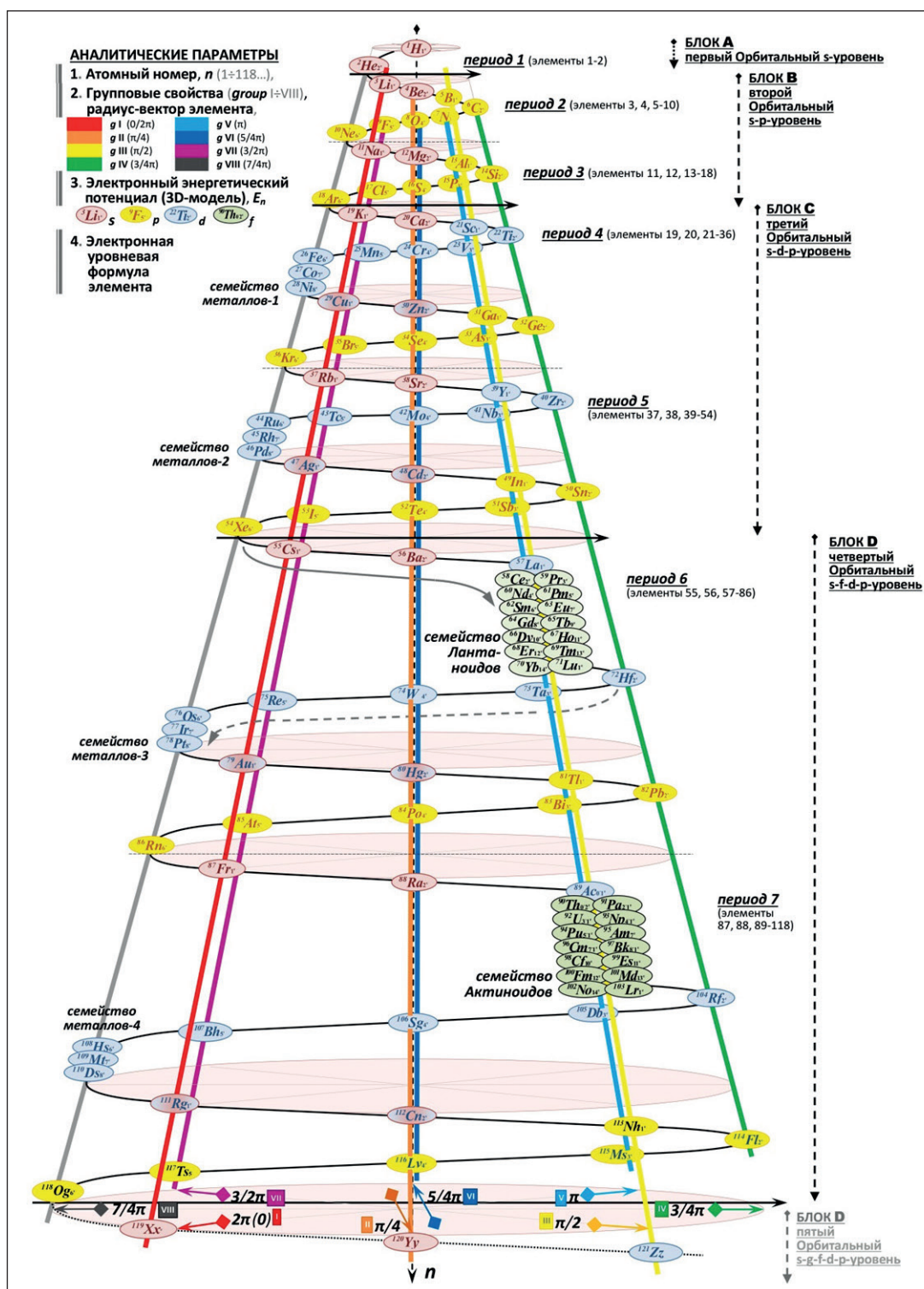


Рис. 2. Объемная матрица химических элементов с аналитическими параметрами

Распределение электронов по энергетическим уровням (состояниям) оболочек *K, L, M, N, O, P, Q, X* (ЭУ), состоящих из подуровней (орбиталей) *s-, p-, d-, f-, g-, h-* на каждом уровне, удовлетворяет принципу минимума потенциальной энергии. Максимальное

число электронов на энергетическом уровне вычисляется по формуле $R = 2n^2$, где *n* – номер уровня или главное квантовое число (1, 2, 3 и т.д.). Каждому заполненному уровню соответствует определенный набор подуровней (орбиталей) (табл. 3).

Таблица 2

Структура энергетических уровней и подуровней (орбиталей) для блоков

Блок А — 1 энергетический уровень (валентная орбиталь $K^s \equiv 1s^2$) заканчивается Гелием He
Блок В — 3 энергетических уровня $K^s L^{s-p} M^{s-p}$ (валентная орбиталь $M^{2-6} \equiv 3s^2 3p^6$) заканчивается Аргоном Ar
Блок С — 5 энергетических уровней $K^s L^{s-p} M^{s-p-d} N^{s-p-d} O^{s-p}$ (валентная орбиталь $O^{2-6} \equiv 5s^2 5p^6$) заканчивается Ксеноном Xe
Блок D — 7 энергетических уровней $K^s L^{s-p} M^{s-p-d} N^{s-p-d-f} O^{s-p-d-f} P^{s-p-d-f} Q^{s-p}$ (валентная орбиталь $Q^{2-6} \equiv 7s^2 7p^6$) заканчивается Оганесомом Og
Прогнозируемые энергетические уровни и электронное строение орбиталей (подуровней) Блока Е
Блок Е — прогнозируется 9 энергетических уровней с элемента №119 по элемент №218 $K^s L^{s-p} M^{s-p-d} N^{s-p-d-f} O^{s-p-d-f-g} P^{s-p-d-f-g} Q^{s-p-d-f-g} R^{s-p-d-f-g} X^{s-p}$ (валентная орбиталь $X^{2-6} \equiv 9s^2 9p^6$) заканчивается элементом №218

Таблица 3

Энергетические уровни, типы и число орбиталей, максимальное число электронов на подуровнях и уровнях

Энергетический уровень (n)	Число подуровней (n)	Тип орбитали	Число орбиталей		Максимальное число электронов	
			в подуровне	в уровне, равно n^2	на подуровне	на уровне, равно $2n^2$
K (n = 1)	1	1s	1	1	2	2
L (n = 2)	2	2s 2p	1 3	4	2 6	8
M (n = 3)	3	3s 3p 3d	1 3 5	9	2 6 10	18
N (n = 4)	4	4s 4p 4d 4f	1 3 5 7	16	2 6 10 14	32

Последовательность заполнения электронами орбиталей определяется правилом Маделунга [12, 13]. Периодичность как цикл трансформации валентности в системе химических элементов проявляется при образовании двух последовательных орбиталей — начальной *s*-орбитали и валентной *p*-орбитали — с непрерывно увеличивающимся в пределах периодов количеством валентных электронов [8].

Начальными являются две группы элементов. I-ю группу химических элементов с одним электроном на подуровне s^1 составляют $Li^3 - Fr^{87}$ и т.д. Заполнение s^1 -подуровня первым электроном показывает (сигнализирует) завершение заполнения валентной оболочки предшествующего периода. II-ю группу химических элементов с двумя электронами на s^2 -подуровне составляют $Be^4 - Ra^{88}$ и т.д. Заполнение

s^2 -подуровня двумя электронами показывает его насыщение и предстоящее образование подуровня p -валентной оболочки, начиная с первого электрона p^1 -подуровня и последующего за ним набора подуровней валентного периода. Для наглядности и удобства анализа использованы электронные формулы химических элементов.

Таким образом, объединение элементов в новые периоды начинается с системно связанной пары химических элементов **I** и **II** групп, показывающих завершение заполнения валентных электронных оболочек атомов элементов предшествующего периода и готовности к образованию валентной электронной оболочки нового периода. При этом в химических элементах **I** группы происходит акт образования новой двухэлектронной начальной орбитали подуровня ns соответствующего энергетического уровня (из **K, L, M, N, P, O, Q, X**) путем заполнения образовавшейся энергетической оболочки первым электроном (ns^1 , электронное формульное обозначение **K, L1, M1** и т.д.), а в последующем химическом элементе группы **II** происходит заполнение этой же атомной орбитали вторым насыщающим электроном (ns^2 , электронное формульное обозначение **K2, L2, M2** и т.д.), образующим устойчивую пару электронов внешней атомной орбитали. Эта начальная пара завершает заполнение подуровня Is^2 , после чего происходит заполнение следующих слоев соответствующего энергетического уровня периодической последовательности химических элементов Объемной матрицы.

С другой стороны, заполнение устойчивой парой электронов внешней атомной орбитали всегда предшествует началу процесса образования нового слоя валентной оболочки атома. Начальные элементы всех периодов матрицы образуют новые периоды, на новой валентной орбитали (np^1) путем заполнения первым электроном соответствующего энергетического уровня и отражают периодические закономерности образования элементов материального мира. Механизм блочной периодичности заполнения атомных орбиталей присутствует на всех уровнях Объемной периодической матрицы химических элементов.

С точки зрения понимания закономерностей периодичности образования химических элементов просматривается особая роль начальных атомных орбиталей двух последовательных элементов. Первый элемент пары констатирует факт завершения образования устойчивого состояния структуры электронных слоев предшествующего, полностью завершеного периода с предельным заполнением электронами оболочек всех энергетических уровней. Все первые элементы — нечетные. Опыт подтверждает, что электронные слои оболочек элементов полностью завершеного периода обладают высокой степенью устойчивости к внешним энергетическим влия-

ниям и явным тяготением к стационарному взаимодействию с энергетическим полем ядра атома [9, 12]. Из этой закономерности вытекает индифферентность электронных слоев предельно заполненных оболочек атомов к проявлению валентности (химическому взаимодействию).

Второй элемент является предвестником начала образования новых электронных слоев элементов последующего периода, состоящего из электронов новых оболочек энергетических уровней. Все вторые элементы — четные. Электронные слои оболочек элементов формирующегося периода не обладают высокой степенью устойчивости к внешним энергетическим влияниям и обладают меньшим стремлением к взаимодействию с энергетическим полем ядра атома. Из этой закономерности вытекает способность внешних электронных слоев незаполненных оболочек атомов к проявлению поливалентности при объединении в молекулы.

Первые элементы валентных p -орбиталей нового периода в каждом энергетическом уровне образуют элементы с p^1 -орбиталью с одним валентным электроном (**B⁵ — Nh¹¹³** и т.д.). Все подобные элементы нечетные и относятся к **III** группе химических элементов. Второй элемент — с двумя валентными электронами p^2 -орбитали в каждом энергетическом уровне (**C⁶ — Fl¹¹⁴** и т.д.). Все элементы четные и относятся к **IV** группе химических элементов. Аналогично структурируются последующие элементы с тремя валентными электронами p^3 -орбитали и иным количеством электронов валентной орбитали в каждом энергетическом уровне, относящиеся соответственно к **V, VI, VII** и **VIII** группам химических элементов.

Закономерности образования моделей электронных оболочек атомов с использованием электронно-уровневых формул позволяют на основе блочного подхода и структурного анализа прогнозировать химические элементы за пределами 118-го элемента, сформировать структуру новых периодов, начиная с еще не открытых химических элементов 11-го периода таблицы Д.И. Менделеева или 8-го периода таблицы IUPAC [15]. Электронно-орбитальные формулы предполагают на основе блочного подхода предельно сокращенное описание структуры химических элементов.

4. Прогнозирование новых химических элементов

Из известных химических элементов короткопериодной системы только 83 встречаются на Земле, самый легкий из них — водород (его атомный номер — $Z = 1$), а самый тяжелый — уран ($Z = 92$). Очевидно, в Солнечной системе и на планете Земля сохранились лишь те элементы, время жизни которых больше возраста Земли (4,5 миллиарда лет).

Другие распались и не дожили до наших дней. Уран, период полураспада которого около 4,5 миллиардов лет, еще распадается. Он является радиоактивным элементом [14]. В природе стабильные образования (ядра элементов, состоящие из разного числа протонов и нейтронов) существуют только до свинца и висмута, затем следует небольшой «полуостров», включающий в себя торий и уран, обнаруженные на Земле. Но как только порядковый номер элемента превышает номер урана, время его жизни резко уменьшается. Например, ядро 100-го элемента в 20 раз менее стабильно, чем ядро урана, а в дальнейшем эта нестабильность только усиливается из-за спонтанного деления ядер. При дальнейших попытках получения новых элементов ученые всего мира сталкиваются с возрастающей трудностью синтеза [16–20]. И только малая часть ядерных исследований завершается успешным синтезом нового элемента. Ни одна лаборатория не может сравниться с нейтронной звездой, которая может создать иные формы материи. В процессе жизни звезд происходят ядерные реакции, которые человеку не подвластны.

Ученые пытаются находить новые виды элементов, но пока эксперименты по поиску «природных» сверхтяжелых элементов продолжаются [17]. Возникает вопрос, а в чем практический смысл этого дорогого мероприятия по созданию новых нестабильных элементов? Несмотря на это разработка экспериментальных методов превращения элементов привела к расширению периодической таблицы за счет трансурановых элементов, проблема границы таблицы остается одной из важнейших в современной теоретической химии.

Сформулированное авторами представление об орбитальных структурах позволяет прогнозировать блочную закономерность появления новых элементов, с образованием семейств с *d*-, *f*-, *g*-, *h*-орбиталями в обратном порядке между *s*- и *p*-орбиталями в III-й группе. Особая перспектива по прогнозу химических элементов семейств III-й группы за пределами блока D. Причина в том, что если циклические семейства лантаноидов и актиноидов III-й группы в парном блоке D состоят из 14-ти *f*-элементов в каждом периоде, то семейства элементов в парном блоке E будут со-

Таблица 4

Блочный структурный анализ для таблицы Д.И.Менделеева с блоками E и F

Блок	Группы химических элементов								IX	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
A	H ¹							He ²		
B	Li ³	Be ⁴	B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹	Ne ¹⁰		
	Na ¹¹	Mg ¹²	Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷	Ar ¹⁸		
C	K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸
	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶		
	Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶
	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴		
D	Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	La ⁵⁷	Hf ⁷²	Ta ⁷³	W ⁷⁴	Re ⁷⁵	Os ⁷⁶	Ir ⁷⁷	Pt ⁷⁸
	Au ⁷⁹	Hg ⁸⁰	Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶		
	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²	Np ⁹³	Pu ⁹⁴	Am ⁹⁵	Cm ⁹⁶
	Rg ¹¹¹	Cn ¹¹²	Nh ¹¹³	Fl ¹¹⁴	Mc ¹¹⁵	Lv ¹¹⁶	Ts ¹¹⁷	Og ¹¹⁸		
E	119	120	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168		
	169	170	203	204	205	206	207	208	209	210
	211	212	213	214	215	216	217	218		
F	219	220	275	276	277	278	279	280	281	282
	283	284	285	286	287	288	289	290		
	291	292	347	348	349	350	351	352	353	354
	355	356	357	358	359	360	361	362		
Лантаноиды: 57 La, 58 Ce, 59 Pr, 60 Nd, 61 Pm, 62 Sm, 63 Eu, 64 Gd, 65 Tb, 66 Dy, 67 Ho, 68 Er, 69 Tm, 70 Yb										
f = 14										
Актинοиды: 89 Ac, 90 Th, 91 Pa, 92 U, 93 Np, 94 Pu, 95 Am, 96 Cm, 97 Bk, 98 Cf, 99 Es, 100 Fm, 101 Md, 102 No										
f = 14										
Блок D семейства группы III										
Блок E семейства группы III										
Блок F семейства группы III										

стоять из **32-х *g-f***-элементов в каждом периоде, а семейства элементов в парном блоке **F** будут состоять из **54-х *h-g-f***-элементов в каждом периоде и т.д. [15]

Пока не рассматриваются вопросы, определяющие возможность существования прогнозируемых элементов в специальных физических условиях. Но с учетом «теории островов устойчивости», поддерживаемой открывателем элемента **Og¹¹⁸** академиком РАН Ю.Ц. Оганесяном, такое существование будущих химических элементов возможно [16, 17], и при этом снова возникает вопрос о прогнозировании новых элементов. Возможности структурного анализа позволяют выполнить прогнозирование структуры неизвестных пока элементов периодической системы в пределах 119–168 элементов **8-го** периода и в пределах 169–218 элементов **9-го** периода блочной структуры **E**, а также в пределах 219–290 элементов **10-го** периода и в пределах 291–362 элементов **11-го** периода блочной структуры **F** и последующих блоков.

Впервые представлен предварительный структурный анализ короткопериодной таблицы на основе прогноза четырех новых периодов прогнозируемых химических элементов (табл. 4). Таким образом, представление о блочности позволило обосновать электронно-уровневые формулы, в том числе для предполагаемых новых химических элементов **5-го** блока **E** с номерами от 119 по 218 и далее.

В дальнейшем рассматривается применение цифровых моделей для исследования в химии, что может существенно повысить эффективность применения методов компьютерного моделирования. С учетом важнейшей роли материаловедения уместен вывод — *кто раньше других освоит цифровую систему, тот может стать лидером во многих сферах жизнедеятельности человека.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ)

1. Периодический закон и его представление в виде таблиц химических элементов — **величайшее открытие в химии**. Плоские таблицы химических элементов Д.И. Менделеева и IUPAC сыграли огромную роль в развитии химии. Однако факт **наличия** в настоящее время **более 500 вариантов** по их модернизации, в том числе высказывания Н.Н. Семенова, свидетельствуют о **необходимости продолжения** работы в этом направлении **на новом уровне** осмысливания.

2. Прежде всего, это **формирование физической модели** вероятных процессов **происхождения химических элементов**. Убедительными обстоятельствами являются представления о Вселенной как расширяющейся системе — работы Стивена Хокинга и Мартина Риса. По нашему мнению, физическая интерпретация (модель) по происхождению и раз-

витию Вселенной позволяет сформулировать более общее понятие о процессе структурирования химических элементов и его представлении в виде расширяющейся конической спирали и сделать ряд новых выводов.

3. Предлагаемая Объемная периодическая матрица представляет собой, так же как и Вселенная, расширяющуюся систему (спираль) и непрерывную последовательность в расположении элементов от водорода (1) и гелия (2) до оганесона (118) с включением в нее лантаноидов и актиноидов и возможного включения другой информации с сохранением периодичности групп элементов и валентного каркаса матрицы, предложенного Д.И. Менделеевым. **Водород и гелий, очевидно, являются структурообразующими элементами**, и на их основе были образованы все другие элементы.

4. Авторами сформулировано понятие цикличности в расположении горизонтальных уровней химических элементов в блоках Объемной матрицы химических элементов. В каждом из блоков обеспечивается примерное равенство соотношения масс нейтронов и протонов в ядрах химических элементов. **Сформулирована закономерность о наличии 4-х уровней блочной цикличности структуры в существующей системе химических элементов**. В блоки включены дополнительно все кластерные образования, а также семейства лантаноидов и актиноидов. Получены новые закономерности периодичности в блочной матричной структуре химических элементов от блока **A** до блока **D**, объединяющие периоды, представленные в таблицах химических элементов Д.И. Менделеева и IUPAC.

5. На основе **цикличности представлены структуры электронных оболочек** для известных 118 элементов в четырех блоках **A, B, C, D**, что позволяет также получить электронно-орбитальные формулы, в том числе и для новых элементов (119–218) блока **E** периодической системы и последующего блока **F**. В блоке **E** для **100 новых элементов** представлены их **порядковые номера** и **ядерные массы**. Элементы 119 и 218 можно было бы назвать именем Н.Н. Семенова **Sm¹** и **Sm²**.

6. Следует отметить, что **прогрессирующее количество новых элементов** находится в **III группе объемной матрицы**, и надо обратить особое внимание на формирование химических элементов в этой группе для блоков **C, D** и последующих, количество которых прогрессирующе возрастает для новых блоков **E** и **F**. Это обстоятельство **100 лет тому назад вызвало необходимость** вынесения групп лантаноидов и актиноидов за пределы таблиц Д.И. Менделеева и IUPAC.

7. Таким образом, Объемная матрица химических элементов является более **общей структурой** для дальнейшего обобщения основных особенностей хими-

Таблица 5

Сравнение таблиц Д.И.Менделеева, IUPAC и OMXЭ

Таблица Д.И. Менделеева	Таблица IUPAC	Объемная матрица GYS	Новизна
непрерывность заполнения клеточек отсутствует		полная непрерывность заполнения (отсутствие пустых клеточек)	модель Объемной матрицы – непрерывно расширяющаяся восьмисекторная спираль
I – II – III ÷ VIII	I ÷ XVIII	I – II – III – IV ÷ VIII	в основе матрицы 8 валентных групп элементов
лантаноиды и актиноиды вынесены за пределы таблиц		семейства группы III находятся в составе матрицы и представлены в табл. 2	все семейства химических элементов входят в группу III
{La}, {Ac}	{La}, {Ac}		
K-L-M-N-	K-L-M-N-	K-L-M-N- и новые уровни (O-P-Q-)	энергетические уровни химических элементов
He ² , Ne ¹⁰ , Zn ³⁰ , Yb ⁷⁰	He ² , Ne ¹⁰ , Zn ³⁰ , Yb ⁷⁰	He ² , Ne ¹⁰ , Zn ³⁰ , Yb ⁷⁰ , (Yn ¹³⁸)	граничные элементы с завершенной электронной структурой
прогноз новых элементов отсутствует		структурный порядковый анализ не ограничен	прогноз новых химических элементов

ческих элементов (их валентности, поливалентности и валентных обитателей в таблицах Д.И. Менделеева и IUPAC). Ее объемность и понятие цикличности позволили выполнить такое обобщение, а **табличные формы Д.И.Менделеева и IUPAC** представлены в ее составе (табл. 5).

8. Использование Объемной матрицы химических элементов позволяет применить математические методы и **создать цифровые модели** по взаимодействию химических элементов между собой, что даст возможность получать новые виды молекул для новых материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Менделеев Д.И. Основы химии. М.-Л.: Государственное научно-техническое изд-во химической литературы. В 2-х томах. 13-е издание. 1947. Т. 1. 624 с.; Т. 2. 708 с.
2. Семенов Н.Н. Химия и электронные явления. (УФН, 4. 1924) // Избранные труды. М.: Наука, 2005. Т.2. 357 с.
3. Гусев Б.В., Ин Иен-Лян С., Сперанский А.А. Объемная матрица химических элементов. М.: РИА, 2021. 126 с.
4. Гусев Б.В., Сперанский А.А. Закономерности блочного подхода для анализа структуры химических элементов и проблемы материаловедения // Нанотехнологии в строительстве. 2019. № 1. С. 76–88. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-1-76-68.
5. Гусев Б.В., Ин Иен-Лян С., Сперанский А.А. Блочная структура периодичности и прогнозирование новых химических элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. С. 4-9. DOI: 10.33622/0869-7019.
6. Гладышев В.П. Современное состояние и методологическое значение Периодической системы химических элементов. Томский государственный педагогический университет. Вестник ТГПУ. Выпуск 2 (18). Серия: Естественные науки (Спецвыпуск). 2000. С. 28–32.
7. Общая и неорганическая химия. Т.1. Теоретические основы Химии. Учебник для вузов в 2-х томах. Под ред. А.Ф. Воробьева. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 371 с.
8. Коулсон Ч. Валентность. М. 1965. 360 с.
9. Кузнецов В.И. Общая химия. Тенденции развития [Науч.-попул.]. М.: Высш.шк., 1989. 288 с.: ил.

10. Рис М. Всего 6 чисел: главные силы, формирующие Вселенную. / Мартин Рис, пер. с англ. / М.: Альпина ион-фикшн, 2018. 226 с.
11. Стивен Хокинг. О вселенной в двух словах. ОГИЗ. М.: Издательство АСТ. 223 с.
12. Дикерсон Р., Грей Г., Хайт Дж. Основные законы химии. М.: Мир, 1993. 258 с.
13. Новошинский И.И., Новошинская Н.С. Химия. Углубленный уровень. Учебник. Русское слово. Серия: Инновационная школа, 2018. 440 с.
14. Кораблева Т.П., Корольков Д.В. Теория Периодической Системы. Издательство Санкт-Петербургского Университета. 2005 г. 305 с.
15. Гусев Б.В. Новые представления по объемной матрице химических элементов и формирование возможности существования 100 дополнительных новых элементов // Вторые Международные Косыгинские чтения «Энергоресурсо-эффективные экологические безопасные технологии и оборудование». Материалы пленарной сессии. Москва: РГУ, 2019. С. 25–29.
16. История синтеза сверхтяжелых элементов. Материал подготовлен на основе информации РИА. Новости открытых источников. Интернет-ресурс: <https://ria.ru/20111201/503670512.html>.
17. Максимчук А. «Остров стабильности» среди химических элементов. Специально для R&D.CNews.ru. Интернет-ресурс: <https://maxpark.com/community/6285/content/2676531>.
18. Хартри Д. Расчеты атомных структур. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1960. 272 с.
19. Zahed Allahyari, Arttem R. Oganov. Nonempirical Defibition of the Mendeleev Numbers: Organizing the Chemical Space. Journal Of Physical Chemistry C. 2020,124, 43, 23867–23878.
20. Audi G., Kondev F.G., Wang M., Huang W.J., Naimi S. The Nubase2016 evaluation of nuclear properties (англ.) // Chinese Physics C. – 2017. – Vol. 41, iss. 3. – P. 030001-1–030001-138.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гусев Борис Владимирович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, президент Международной и Российской инженерных академий, info-rae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2718-9539>

Ин Самуэл Иен-Лян – доктор делового администрирования, учредитель Премии Тан, президент Ruentex Group, генеральный директор по исследованиям и разработкам и главный инженер Ruentex Engineering & Construction Co., Ltd., почетный президент Международной инженерной академии, иностранный член Российской инженерной академии, Тайбэй, Тайвань, info_tciae@mail.ru

Сперанский Анатолий Алексеевич – доктор экспертизы, профессор, вице-президент Российской инженерной академии, vibro-vector@yandex.ru

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.09.2021; одобрена после рецензирования 27.09.2021; принята к публикации 04.10.2021.



Properties of Nano Engineered Concrete Subjected to Accelerated Corrosion

A. Maher El-Tair^{1*} , M.S. El-Feky² , Alaa Mohsen³ , M. Kohail³

¹ German University, Cairo, Egypt

² National Research Centre, Cairo, Egypt

³ Ain Shams University, Cairo, Egypt

* Corresponding author: e-mail: ahmed.eltair@guc.edu.eg

ABSTRACT: Introduction. Many research had worked on improving the performance of concrete subjected to severe environment and improve concrete corrosion resistance. Using nano-materials is one of the methods had been used recently to improve concrete properties. In this research, a comparison between the performance of nano-silica and nano-clay in enhancing the durability properties of concrete was investigated. **Methods and Materials.** The experimental program was carried out through examining water absorption, water permeability, rapid chloride penetration test, corrosion resistance, bond strength of steel rebar before and after subjected to corrosion, and finally microstructure test. Nano-silica and nano-clay were added at 1%, 3%, and 5% as a partial replacement by weight of cement. **Results.** Both nano-silica and nano-clay showed significant performance in reducing the permeability and porosity of concrete and improve corrosion resistance of concrete. For comparison, nano-clay had a significant impact than that of nano-silica on concrete properties; in which the water permeability resistance of nano-clay mixes was enhanced by 87% than that of the control mix, while for nano-silica, it was 51% only. The chloride ion penetration was reduced by 72% for nano-clay mixes, while in nano-silica was 28%. **Discussion.** Nano-clay had a significant effect than that of nano-silica on the concrete durability properties; the flat-shaped of nano-clay particles had improved the microstructure of the cement matrix through the damping effect, besides the filling effect through the microstructure of the matrix which reduces the chloride ion penetration and improves water absorption and permeability of concrete. **Conclusion.** The optimum percentage of nano-silica is 1% by weight of cement as a partial replacement of cement by weight. However, for nano-clay is 5%, which gives the best performance in improve the durability properties of concrete.

KEYWORDS: nano-silica, nano-clay, permeability, chloride penetration, bond strength, corrosion resistance, microstructure analysis.

FOR CITATION: Maher El-Tair A., El-Feky M.S., Mohsen Alaa, Kohail M. Properties of Nano Engineered Concrete Subjected to Accelerated Corrosion. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5): 293–305. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-293-305>

1. INTRODUCTION

The construction revolution occurred in Egypt in the last 6 years, starting with the digging of the new Suez Canal and the development projects all over Egypt, from the development of the east bank of the Suez Canal and to the construction in new coastal cities as New Allamin City [1, 2]. In addition to, the new extension of Port-Said and Damietta ports requires a new technique and new materials to be added in the construction industry. Also, introducing a new and optimized technique to improve concrete resistance to corrosion of the steel rebars [3–5].

Steel rebar corrosion is one of the major problems that cause deterioration and reduce the service life of concrete structures [6–8]. The presence of chloride ions or sulfates from seawater or air can penetrate and destroy the passive film formed by concrete [9–12]. By improving the cement matrix's microstructure to reduce the porosity and permeability of concrete [13–18].

Using supplementary cementing materials in the micro-scale as silica fume, fly ash, coal ash, and ground blast furnace slag had been studied in the last decades to improve the microstructure and to reduce the porosity of the cement matrix and studied their effect in improving the corrosion resistance of concrete [19–26]. Using

supplementary materials in nano-scale is one of the hot topics these days to enhance the cement matrix's porosity and improve the strength of the Interfacial Transition Zone (ITZ) [27–34].

Nano-Silica (NS), Carbon nanotubes (CNTs), Nano-Clay (NC), Nano-Cellulose (NCL) are one of the available nano-materials in the construction industry; however, nano-clay is the most available nano-materials in the Egyptian market as it is locally produced. These nano-materials are added as a replacing material to cement by weight to improve the mechanical and durability properties of concrete; through filling, pozzolanic, and nucleation effect of the nano-materials [35–43]. One of the main problems that nano-materials face in the construction industry, besides its high cost, is the consistency of concrete, where adding nano-materials to concrete had a negative effect on its workability [15–17]. Many researchers had worked on improving the workability of the nano-materials, generally, in concrete and enhance their dispersion in the cement matrix [35]. Some researchers had introduced the sonication process, especially the indirect sonication method, which was the optimum method to improve the dispersion of the nano-materials in the cement matrix [39, 40, 44]. The researchers found that every nano-materials had a specific concentration, with a corresponding indirect sonication time that must be applied before adding to concrete [13, 14, 35, 44, 43]. In this research program, a comparison will be carried out to investigate the individual performance of nano-silica and nano-clay on improving the porosity and corrosion resistance of concrete through absorption test and permeability test, in addition to their impact on the bond strength between the steel rebar and concrete before and after subjected to corrosion through a pull-out test. In addition, a microstructure test will be applied through Scanning Electron Microscopy (SEM) to study the effect of nano-silica and nano-clay in improving the microstructure of the cement matrix.

2. EXPERIMENTAL PROGRAM

2.1. Materials

Ordinary Portland Cement (CEM I) with a grade of 42.5 N, complying with the requirements of ASTM

Table 2

Physical Properties of Sand and Crushed Dolomite

Property	Sand	Dolomite
Specific Weight (kg/m ³)	2.89	2.76
Bulk Density (kg/m ³)	1.67	1.82
Fineness Modulus	2.75	
Water Absorption %	—	1.85
Crushing Value %	—	14.3
Clay and Fine Dust Content %	1.95	0.55

C150 [45] standard, was used. Table 1 shows the chemical composition of used cement. Natural sand was used complying with ASTM C33 [46] with a particle size less than 0.5 mm, and specific gravity of 2.58 g/cm³. Table 2 shows the properties of fine aggregate used. Crushed dolomite is used as a coarse aggregate, with an average size of 12 mm and a specific surface area of 2.76 g/cm³. The mixes consist of 35% fine sand and 65% crushed dolomite by total aggregate weight. Nano-silica is used with white colorant with particles size ranges between 10 nm and 15 nm. The chemical properties of nano-silica are shown in Table 1. Nano-clay used was off-white in colorant with an average particles size of 30 nm. The chemical composition of nano-clay is shown in Table 1. The high value of L.O.I of nano-clay can be due to the evaporation of the physical combined water. Nano-Silica and Nano-clay were produced by the physics department in National Research Center in Egypt. Figure 1 shows the SEM of nano-silica and nano-clay particles, as the shape of nano-silica particles is spherical while nano-clay particles are hexagonal shape (platelet). The superplasticizer used is a polycarboxylate solution of type G.

2.2. Mix design proportions

In this research, seven concrete mixes were used; control mix, three mixes using nano-silica as a partial replacement of cement with different percentages (1, 3, and 5%), three mixes using nano-clay the same as used in nano-silica mixes. Nano-silica and nano-clay were both subjected to indirect sonication (bath sonicator). Nano-

Table 1

Chemical Composition of Cement, Nano-Silica, and Nano-Clay (%)

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O	L.O.I
Cement	20.13	3.61	5.32	61.63	2.39	—	0.37	0.13	—	1.96
NS	99.1	0.06	0.13	0.14	0.11	—	0.4	—	0.01	
NC	61.24	1.06	20.89	0.16	0.22	1.61	0.71	—	—	14.11

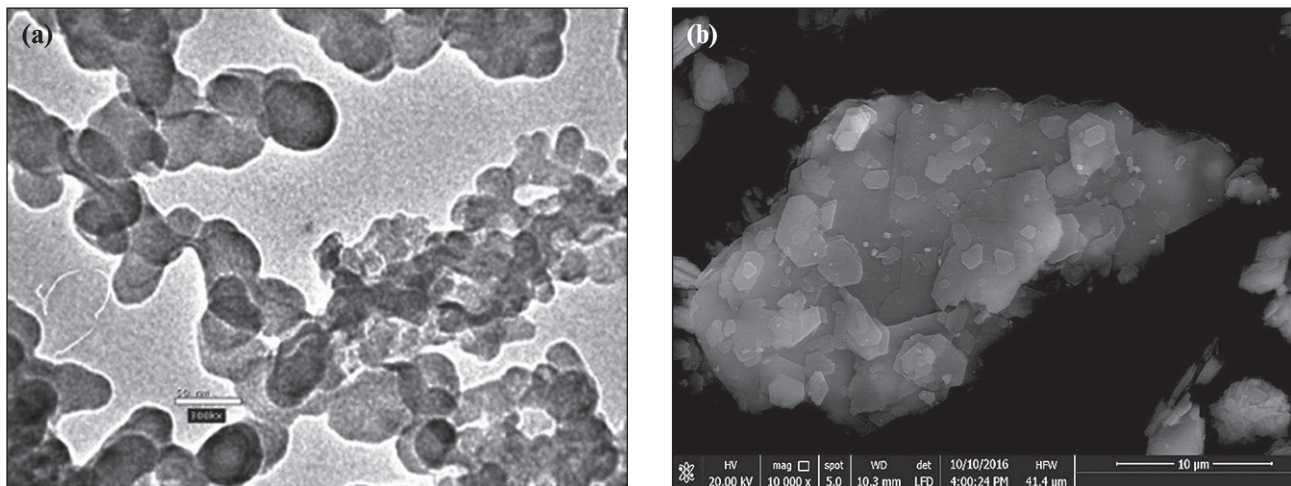


Fig. 1. SEM micrographs of (a) nano-silica (50 μm) and (b) nano-clay (10 μm) particles

Table 3
Concrete Mixes Proportions (kg/m³)

Mix	Cement	Aggregate	Water	SP	NS	NC
C	450	1706	192	2.7	—	—
1% NS	445.5	1706	192	2.7	4.5	—
3% NS	436.5	1706	192	2.7	13.5	—
5% NS	427.5	1706	192	2.7	22.5	—
1% NC	445.5	1706	192	2.7	—	4.5
3% NC	436.5	1706	192	2.7	—	13.5
5% NC	427.5	1706	192	2.7	—	22.5

silica were added to the mix in a solution with a concentration of 1:10 and subjected to ultrasonic waves for 5 minutes, as reported by [13,14]. While nano-clay was used in a solution with a concentration of 1:4, with an indirect sonication time of 10 minutes, as reported by [39, 43]. Indirect sonication was performed using a bath sonicator, as shown in Figure 2, with a constant power of 135W and frequency of 40 kHz [44]. The water to binder ratio was a constant value of 0.35 for all mixes. Table 3 shows the mix proportions of the concrete mixes.

2.3. Mixing procedures

Half of the mixing water was added to the cement for the control mix and mixed for 2 minutes in a turn-tilt mixer. Then the second half of mixing water was added to the mix and continue mixing for 3 minutes. Fine aggregate was added and mixed for 2 minutes, and finally, crushed dolomite was added and mixed for 3 minutes. A preparation step for the solution was carried out before the mixing process for nano-silica and nano-clay mixes. Both nano-silica and nano-clay, individually, were sub-



Fig. 2. Bath sonicator

jected to ultra-sonic waves through a bath sonicator; each one was subjected to a specific sonication time and concentration ratio. As mentioned before, nano-silica was added to mixing water with a concentration ratio of 1:10 and subjected to ultrasonic waves for 5 minutes.

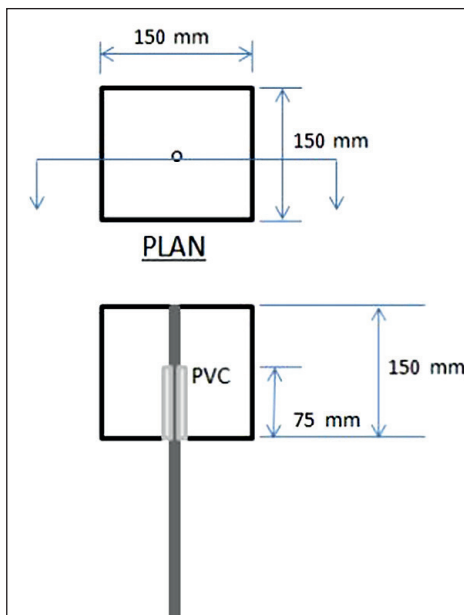


Fig. 3. A schematic drawing for the bond test sample

While the concentration ratio for a nano-clay solution was 1:4 and sonicated for 10 minutes. After that, the mixing process starts through dry mixing of cement, then the nano-solution was added and mixed for 3 minutes. The remaining mixing water was added to the mix with the superplasticizer and continued mixing for another 3 minutes. Then both fine and coarse aggregate was added as done in the control mix.

2.4. Preparation of the specimens, curing, and tests

After the mixing process had finished, cubes of $(150 \times 150 \times 150) \text{ mm}^3$ were cast for water permeability test [47], bond strength [48], and corrosion resistance [49] tests after 28 days. For both bond and corrosion tests, steel rebar



Fig. 5. Vacuum chamber

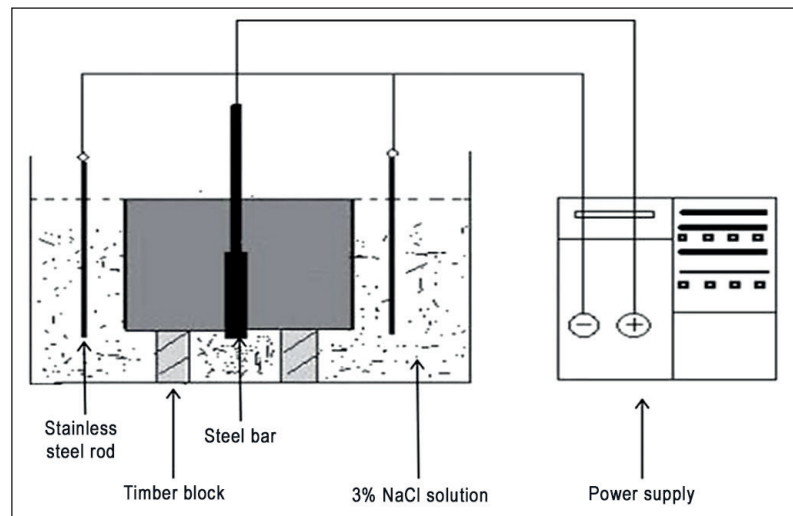


Fig. 4. A schematic drawing for the corrosion test

of diameter 12 mm was embedded in the cube to check the effect of nano-silica and nano-clay in enhancing the bond of the steel rebar in normal conditions and after subjecting to corrosion. Three specimens were prepared for each test, and the final result is the average between them. A 75 mm length of polyvinyl chloride tubing is utilized to de-bond the steel rebar rooted inside the specimen, making the bond sliding failure dominate over other types of failure like splitting and yielding steel rebar, as shown in Figure 3. Figure 4 shows the setup of the corrosion test. While the rapid chloride penetration test was carried according to ASTM C1202 [50]. The specimen used in this test is a cylinder specimen with a diameter of 100 mm and a height of 50 mm. the specimen was coated with epoxy, then placed in a vacuum chamber for 3 hours to remove the humidity from the specimen before testing, as shown in Figure 5. While the chloride penetration test set-up is shown in Figure 6. A microstructure test was carried out to check the effect of nano-silica and nano-clay on the microstructure of the cement matrix through Scanning Electron Microscope (SEM).



Fig. 6. Rapid chloride penetration test setup

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Water absorption test

Figure 7 shows a comparison between the effect of adding nano-silica and nano-clay on the absorption of concrete. Where both nano-silica and nano-clay had a positive impact in reducing the absorption of concrete. From Figure 7, it is clear that the impact of nano-clay in reducing the porosity and absorption of concrete is more significant than that with nano-silica. As the absorption of nano-silica, at 5% replacement with nano-silica, was reduced by 21% than that in the control mix, while in the nano-clay mix, the reduction of the absorption was by 51% at 5% nano-clay. These can be attributed to

the filling effect, which plays a vital role in this property, where the nano-particles fill the internal pores in the cement matrix and improve its microstructure to become more denser and uniform as will be discussed later in the microstructure analysis. The more significant effect of nano-clay than that of nano-silica can be attributed to the flax shape of clay nano-particle that gives nano-clay an extra advance, which is the damming effect between the micro and nano-particles of the cement matrix.

3.2. Water Permeability Test

Figure 8 represents a comparison between the impact of nano-silica and nano-clay on the permeability of concrete. The results obtained exhibit the same trend as

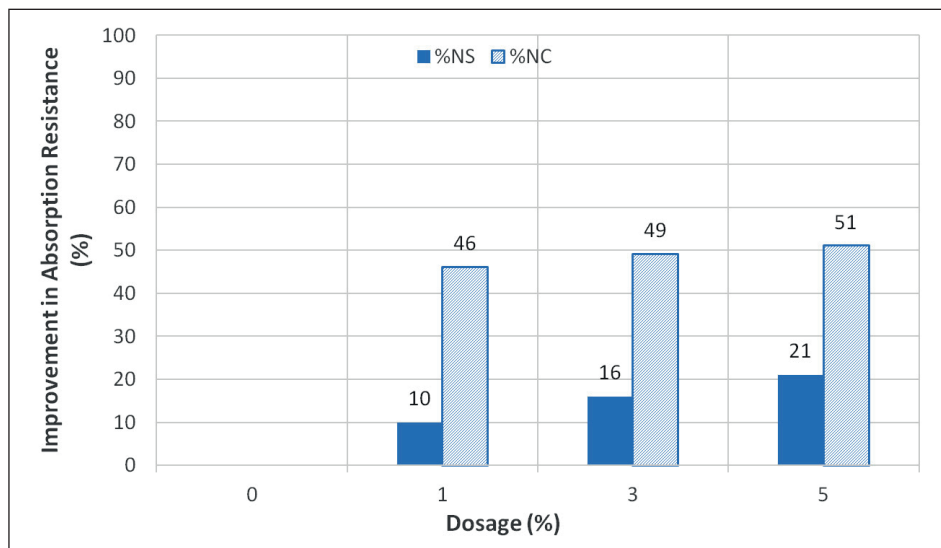


Fig. 7. Improvement in the absorption resistance for nano-silica and nano-clay concrete

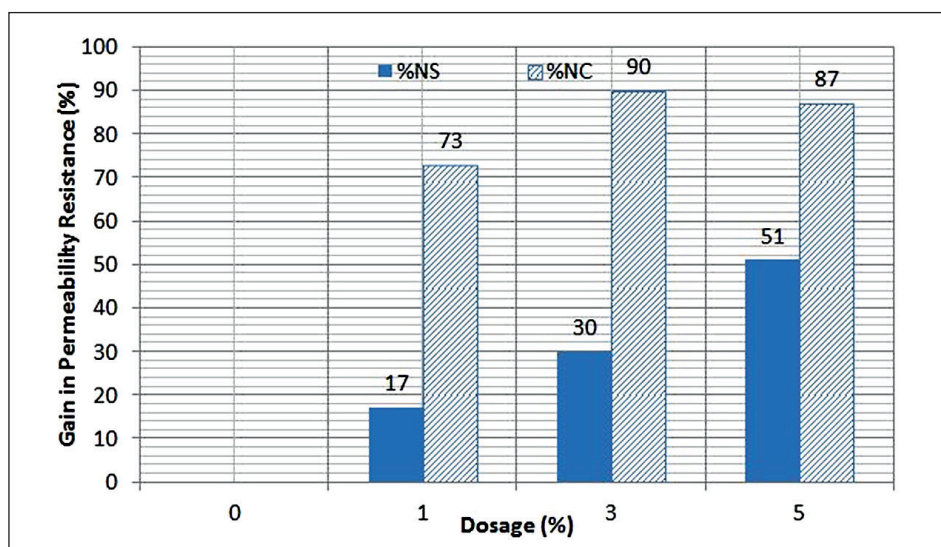


Fig. 8. Gain in water permeability resistance of nano-silica and nano-clay concrete

in the water absorption test, as the effect of adding both nano-silica and nano-clay had reduced the permeability of concrete. This reduction can be attributed to the filling effect of both nano-silica and nano-clay, the pozzolanic effect in which reacting with the excess Ca(OH)_2 forming more C-S-H , which improve the homogeneity of ITZ, and the nucleation effect of nano-silica and nano-clay, resulting in densifying the microstructure of the cement matrix. The damming effect of clay nano-particles had blocked the nano-voids in the cement matrix, resulting in a more homogenous cement matrix and, hence, reduced the permeability of concrete.

3.3. Chloride Penetration Test

Figures 9 and 10 show the charges passing through the control, nano-silica and nano-clay concrete with different dosages. For nano-silica concrete, at 1% of nano-silica, the charges passed reduced by 28% than the control mix and then the charges increase again until it reached 262 coulombs with an unremarkable reduction of 1%. This can be attributed to the fact that the nano-silica filling effect had a significant impact on absorption and permeability properties. Whereby increasing nano-silica percentage agglomeration occurred to silica nano-

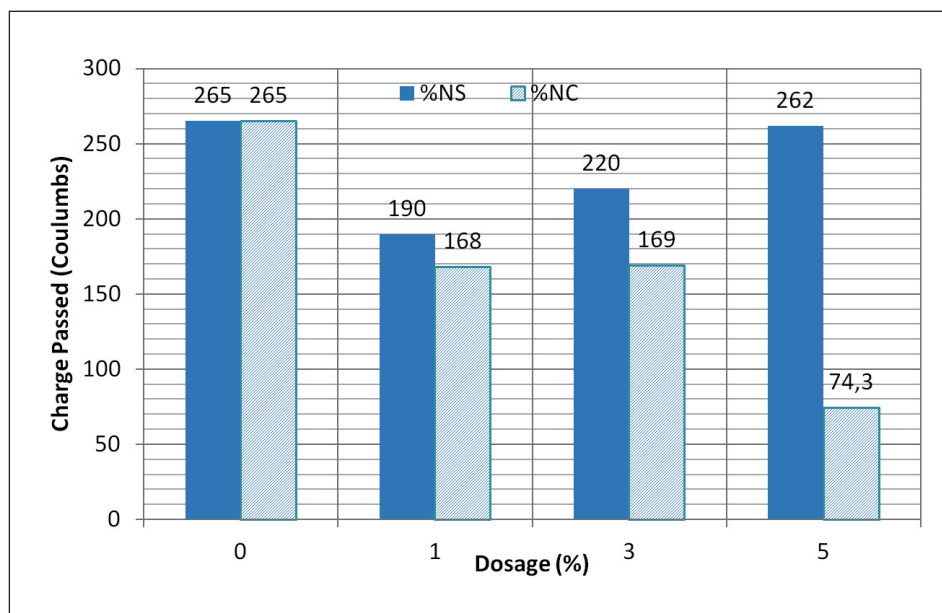


Fig. 9. Coulombs passed vs. nano-silica and nano-clay content

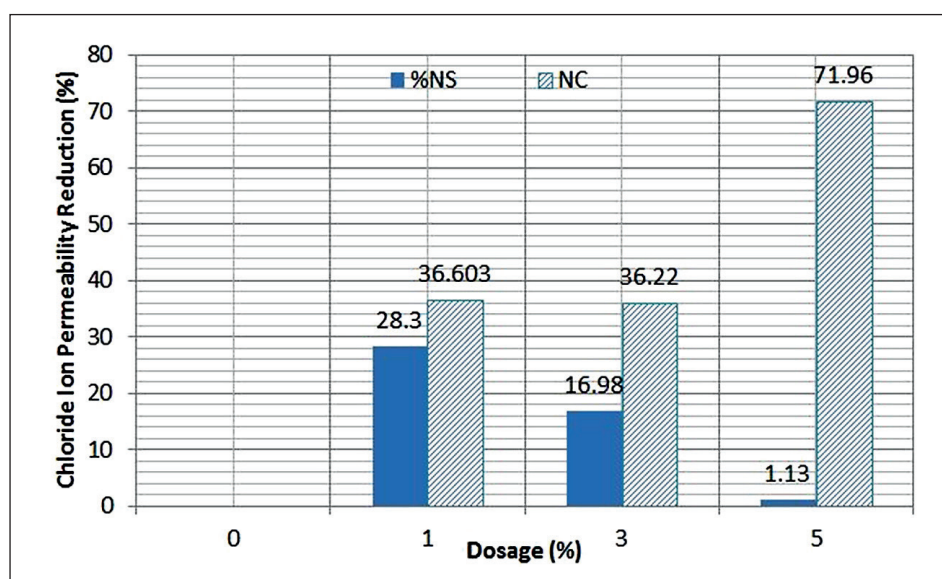


Fig. 10. Reduction of Coulombs passed of concrete with nano-silica and nano-clay content

particles, which negatively impacted the homogeneity of the microstructure of the cement matrix; in other words, a large amount of nano-silica cannot be distributed well even after being subjected to sonication. As mentioned before in section 2.2. the concentration was 1:10, and as reported by Sharobim et al. [13, 14], the optimum percentage was 1:10. In which sonication will be difficult at higher percentages and not effective.

While at nano-clay concrete, as increasing nano-clay percentages the coulombs passed reduced. This can be attributed to the fact that the optimum percentage for nano-clay is 5% by weight of cement. In addition to, the

filling, pozzolanic, and nucleation effect of clay nanoparticles improve the microstructure of the ITZ and make it more homogenous, as reported by Nehal et al. [39]. Plus, the damming effect is the result of the clay particle shape, in which the microstructure of the ITZ became more homogenous and denser.

3.4. Corrosion Resistance

The addition of both nano-silica and nano-clay to concrete had improved the corrosion resistance of concrete than that without any additive. Figures 11 and 12

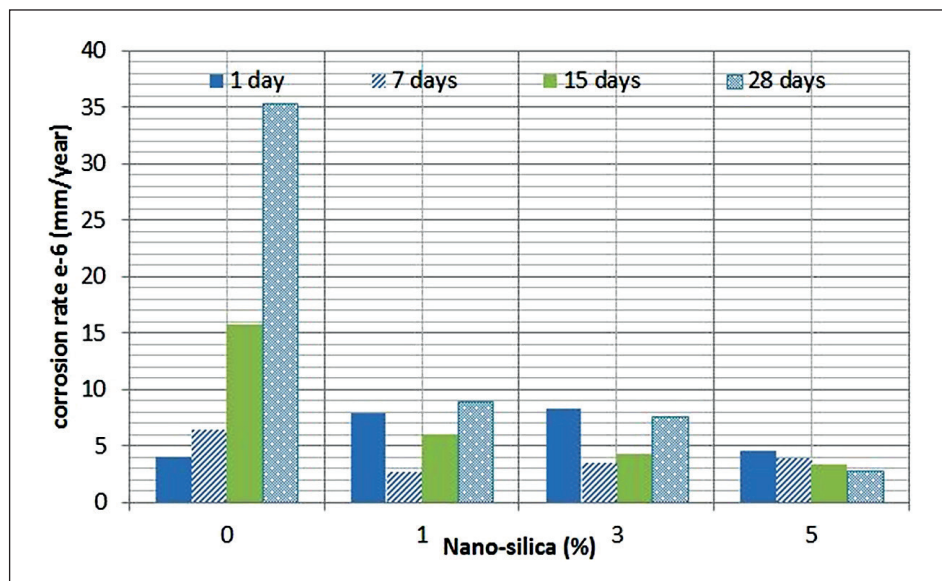


Fig. 11. Effect of nano-silica content on the corrosion rate of concrete

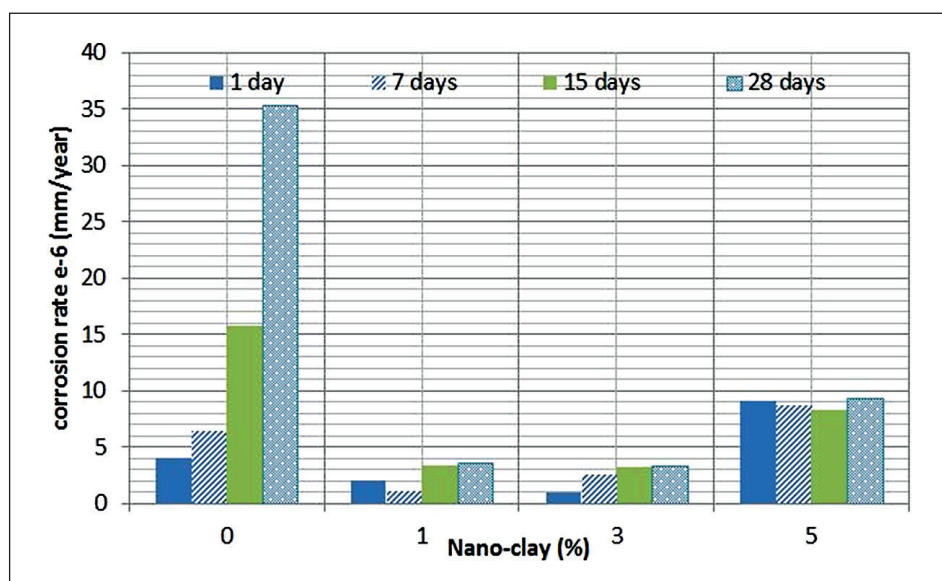


Fig. 12. Effect of nano-clay content on the corrosion rate of concrete

showed the individual effect of nano-silica and nano-clay in reducing the corrosion rate of the steel rebar. This behavior can be attributed to the positive impact of nano-silica and nano-clay in improving the microstructure of the cement matrix. In addition, the sonication process enhances the dispersion and homogeneity of these nano particles and reduces the porosity of the interfacial transition zone of the cement matrix. The filling effect property of both nano-silica and nano-clay fills the nano-pores and reduces the porosity of the cement matrix, in addition to the pozzolanic effect, which improves the cement matrix's microstructure. However, the damping effect of

the flatshape of clay nano-particles reduces the cement matrix's porosity. These results agreed with Kelestemur et al. [51] and Eskandari et al. [52].

3.5. Bond strength

Figures 13 and 14 show the bond strength of a 12 mm steel rebar for nano-silica and nano-clay concrete before and after being subjected to a corrosive environment. The failure for all concrete specimens was a pull-out failure. For nano-silica concrete mixes, as shown in Figure 10, the optimum percentages obtained for

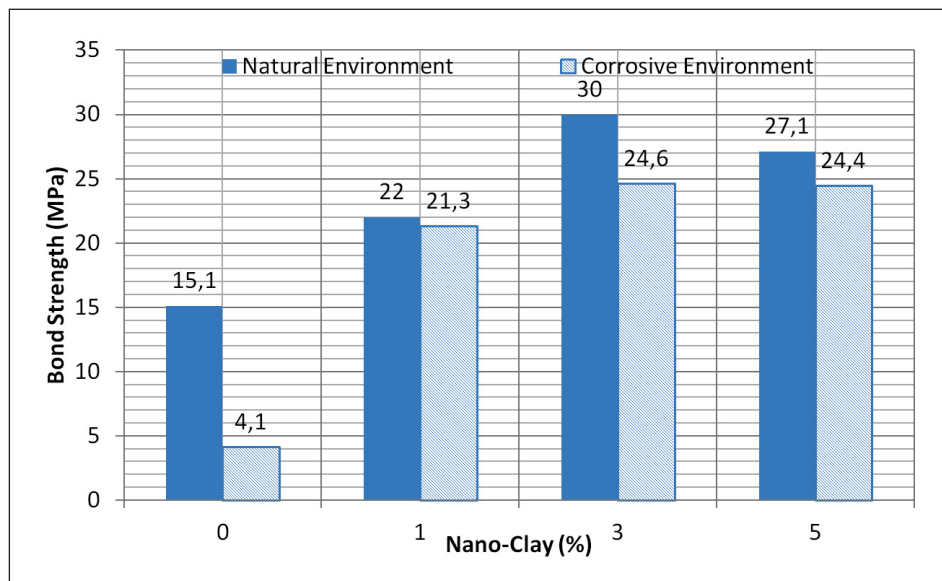


Fig. 13. Bond strength of nano-silica concrete at the natural and corrosive environment

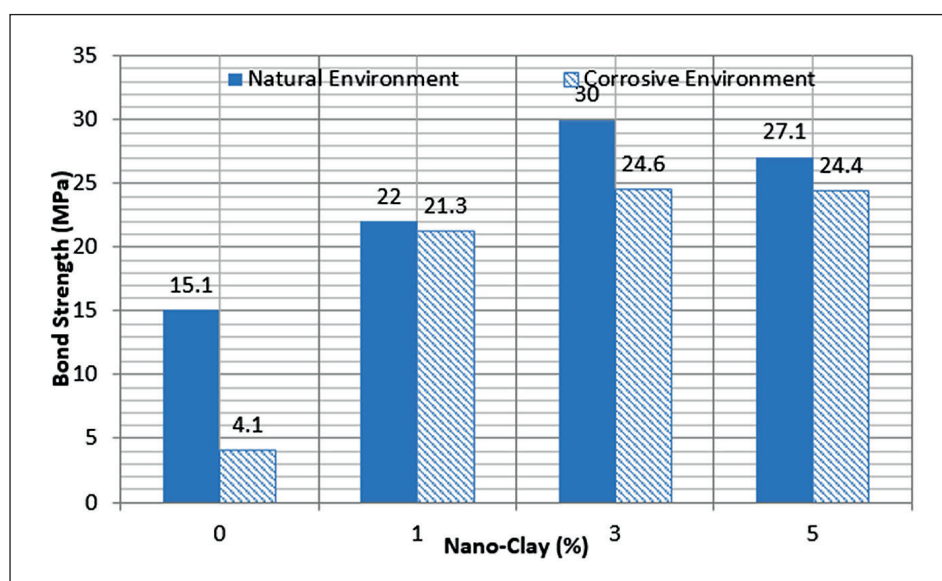


Fig. 14. Bond strength of nano-clay concrete at the natural and corrosive environment

nano-silica was 1% as a partial replacement of cement. However, after being subjected to corrosion, the bond strength is enhanced by increasing nano-silica percentages; this can be attributed to the filling effect of silica nano-particles which improve the ITZ to make it more homogeneous and well-compacted and denser than that without nano-silica and reduce the spaces of the voids that aids the chlorides to attack the steel rebar. In addition, the pozzolanic reactivity of nano-silica improves the microstructure of the cement paste. On the other side in Figure 11, the effect of nano-clay is relatively more evident than that of nano-silica. This can be due to the formation of clay nanotubes, which will be illustrated in the microstructure analysis, which enhances the bond of the steel rebar even after being subjected to corrosion. That for sure, besides the filling, nucleation, pozzolanic, and damping effect of clay nano-particles, these findings agreed with those obtained by other researchers [51–54].

3.6. Microstructure Analysis

3.6.1. Scanning Electron Microscopy

Figures 15, 16, 17, and 18 showed the microstructure analysis of the control, nano-silica and nano-clay mixes; the microstructure analysis had explained the results of the permeability, corrosion, and bond tests shown previously in this paper. Figures 15(a) and 15(b) show the control mix's microstructure; without any nano-materials, the control mix showed a relatively much weaker microstructure compared with the nano-silica nano-clay samples. Ettringite needles, voids, and calci-

um hydroxide crystals are obvious in control, indicating a relatively weaker matrix. While in nano-silica mixes, the addition of nano-silica to the cement matrix had improved the homogeneity and the microstructure of the cement matrix, as shown in Figures 16 and 17. Figures 17(a) and 17(b) show the mixes with the optimum replacement percentage of 1% nano-silica by weight; it is clear that the microstructure had improved with the addition of nano-silica. The microstructure became more uniform and denser, attributed to the pozzolanic and the filling effect of silica nano-particles, which produce more CSH crystals and minimize the void ratio within the cement matrix. These results agreed with [56–59]. However, adding nano-silica more than 1% wt. resulted in a relatively weaker microstructure, as shown in figures 16(a) and 16(b). This can explain the performance of nano-silica with a dosage of 5% in the corrosion, permeability, and bond test. This can be explained by reducing the pH value of concrete due to increasing the pozzolanic reactivity of nano-silica, resulting in reducing the amount of calcium hydroxide. For nano-clay specimens, the microstructure of the cement matrix had become denser and more uniform due to the filling and the pozzolanic effect of nano-clay, in addition to the pozzolanic effect. In figures 18(a) and 18(b) showed the formation of clay nano-tubes produced from the rolling of the plate shape of clay nano-particles forming fibers needles in the nano-scale, which had a positive effect on the bond strength of steel rebar and explained the relatively high results of bond strength before and after corrosion than that of the nano-silica samples, this results agreed with obtained by other researchers [39, 31–33, 54].

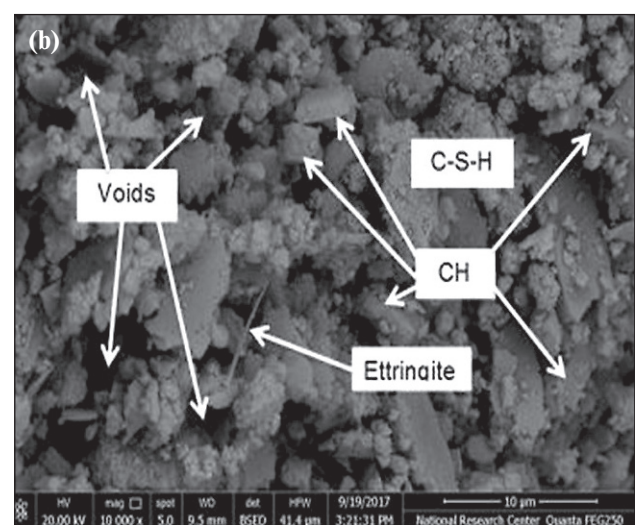
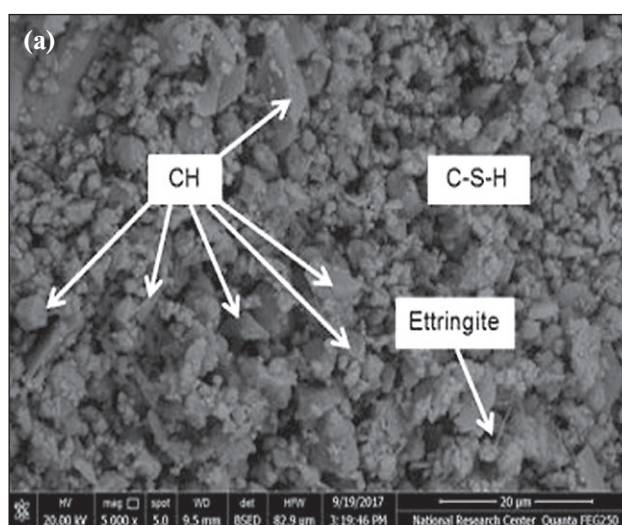


Fig. 15. SEM Micrograph for control mix

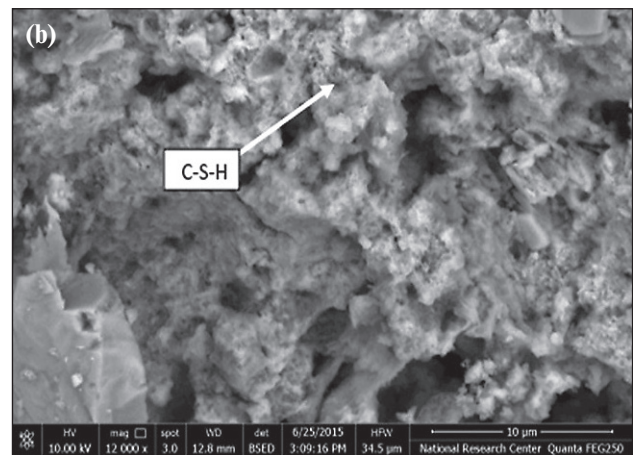
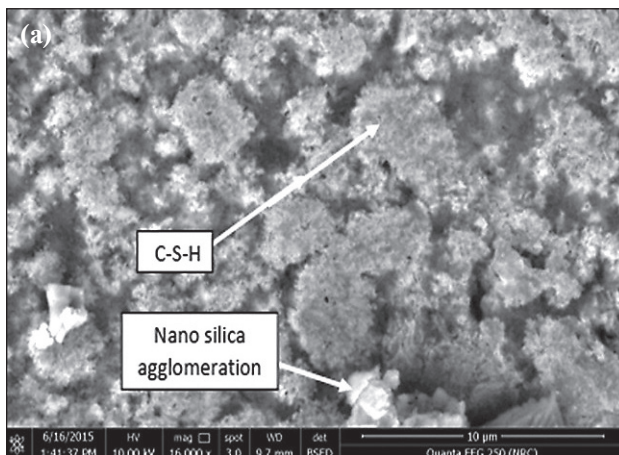


Fig. 16. SEM Micrograph for nano-silica concrete at 5% nano-silica content

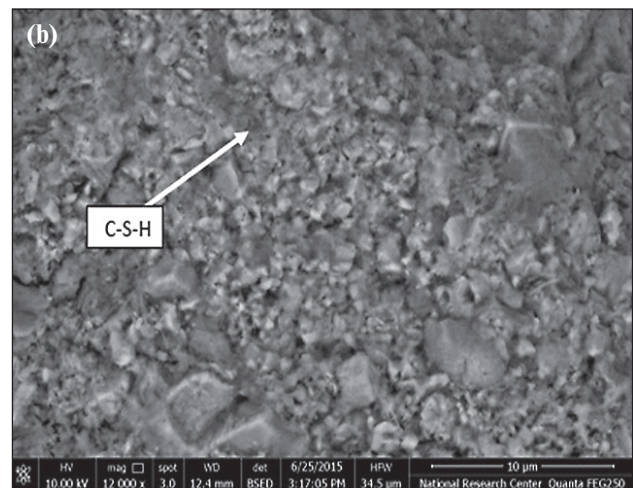
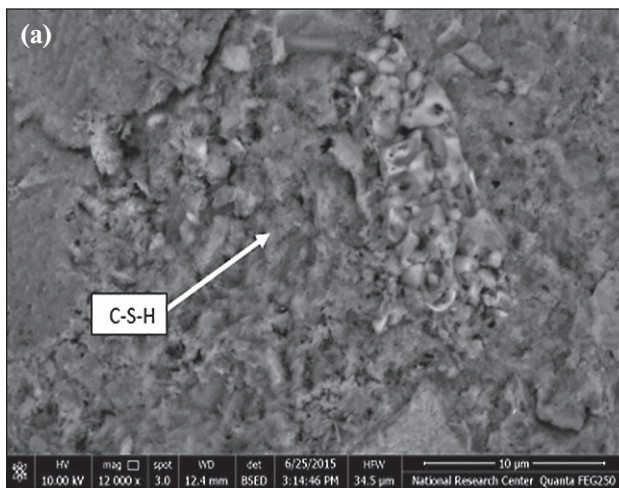


Fig. 17. SEM Micrograph for nano-silica concrete at 1% nano-silica content

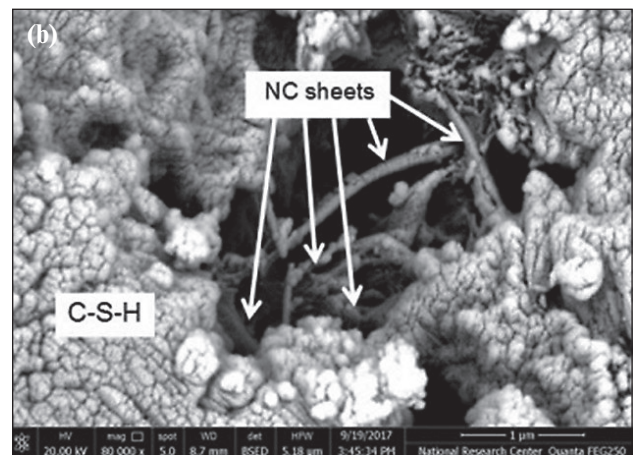
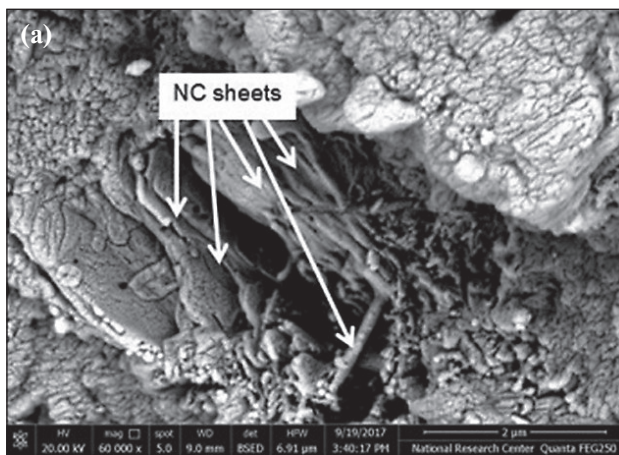


Fig. 18. SEM Micrograph for nano-clay concrete at 5% nano-clay content

4. CONCLUSION

From the experimental work done through studying the individual effect of nano-silica and nano-clay, the following conclusions can be taken:

- The optimum percentage of nano-silica is 1% by weight of cement as a partial replacement of cement by weight. However, nano-clay can be taken by 5%.
- The filling effect of nano-clay and nano-silica improve the water absorption and permeability properties as by increasing their percentages, the porosity and the permeability of concrete are reduced.
- Nano-silica and nano-clay had improved the resistance of concrete to chloride penetration and steel rebar corrosion through the filling, pozzolanic, and nucleation effect by enhancing the ITZ's homogeneity and producing more C–S–H gels.
- Nano-clay had introduced an advanced performance than nano-silica in the chloride penetration resistance and corrosion resistance and steel rebar de-bonding through the damming effect of the flat-shape of clay nano-particles in addition to the fiber effect of the produced clay nano-fibers.
- Using nano-clay as a partial replacement to portland cement is more optimum than using Nano-silica due to its structural and durability performance and production cost as the production cost of nano-clay is much less than the production of nano-silica by 70% due to the availability of nano-clay in the Egyptian market.

REFERENCES

1. "The Report Egypt 2016", reported submitted by Oxford Business Group, www.oxfordbusinessgroup.com.
2. "Environmental and social impact assessment (ESIA) for Egyptian EETC 500 kV transmission lines project", reported by EcoConServ, Sept. 2015.
3. Angst U. M. Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *Materials and Structures*. 2018; 51(1): 1–20.
4. Quraishi M. A., Nayak D. K., Kumar R., Kumar V. Corrosion of reinforced steel in concrete and its control: An overview. *Journal of Steel Structures and Construction*. 2017; 3(1): 1–6.
5. Guevara B., Juárez C., Fajardo G., Castro-Borges P. Shear strength behaviour on corrosion damaged stirrups of reinforced concrete beams. *Revista Ingeniería de Construcción*. 2011; 24(3): 259–270.
6. Angst U., Elsener B., Larsen C. K., Vennesland Ø. Critical chloride content in reinforced concrete – a review. *Cement and concrete research*. 2009; 39(12): 1122–1138.
7. Moser R. D., Singh P. M., Kahn L. F., Kurtis K. E. Chloride-induced corrosion resistance of high-strength stainless steels in simulated alkaline and carbonated concrete pore solutions. *Corrosion Science*. 2012; 57: 241–253.
8. Ahmad S. Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction – a review. *Cement and concrete composites*. 2003; 25(4–5): 459–471.
9. Gerengi H., Kocak Y., Jazdzewska A., Kurtay M., Durgun H. Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid. *Construction and Building Materials*. 2013; 49: 471–477.
10. Pradhan B., Bhattacharjee B. Rebar corrosion in chloride environment. *Construction and Building Materials*. 2011; 25(5): 2565–2575.
11. Pradhan B., Bhattacharjee B. Performance evaluation of rebar in chloride contaminated concrete by corrosion rate. *Construction and building materials*. 2009; 23(6): 2346–2356.
12. EGüneysi E., Gesoğlu M., Karaboğa F., Mermerdaş K. Corrosion behavior of reinforcing steel embedded in chloride contaminated concretes with and without metakaolin. *Composites Part B: Engineering*. 2013; 45(1): 1288–1295.
13. Sharobim K. G., Mohammedin H., Hanna N. F., El-Feky M. S., Khattab E., El-Tair A. M. Optimizing sonication time and solid to liquid ratio of nano-silica in high strength mortars. *Int J Curr Trends Eng Res*. 2017; 3: 6–16.
14. Sharobim K. G., Mohamadien H. A., Hanna N. F., El-Feky M. S., Khattab E., El-Tair A. M. Optimizing sonication time and solid to liquid ratio of nano-silica in high strength concrete. *Int J Sci Eng Res*. 2017; 8: 687–693.
15. El-Feky M. S., El-Rayes M. The Effect of Nano Cellulose Synthesized from Rice Straw on the Performance of Cement Composite Reinforced with Carbon Nano Tubes. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2019; 8(10): 2401–2410.
16. El-Feky M. S., El-Tair A. M., Kohail M., Serag M. I. Nano-fibrillated cellulose as a green alternative to carbon nanotubes in nano reinforced cement composites. *Int J InnovTechnolExplor Eng*. 2019; 8: 484–491.
17. El-Feky M. S., Youssef P., El-Tair A. M., Ibrahim S., Serag M. Effect of nano silica addition on enhancing the performance of cement composites reinforced with nano cellulose fibers. *AIMS Materials Science*. 2019; 6(6): 864–883.
18. El-Feky M. S., El-Khodary S. A., Morsy M. Optimization of hybrid cement composite with carbon nanotubes and nano silica using response surface design. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(The First International Conference on Molecular Modeling and Spectroscopy 19-22 February, 2019), 2019; 57–67.

19. Hashem M. M., Serag M.I., Elkady H., El-Feky M. Increasing the reactivity of silica fume particles using indirect sonication: effect of process parameters. *Civ Environ Res.* 2015; 2: 537–557.
20. Mohamadien, H. A. The Effect of marble powder and silica fume as partial replacement for cement on mortar. *International journal of civil and structural engineering.* 2012; 3(2): 418.
21. Karaşın A., Doğruyol M. An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
22. Zhou Q., Lu C., Wang W., Wei S., Lu C., Hao M. Effect of fly ash and sustained uniaxial compressive loading on chloride diffusion in concrete. *Journal of Building Engineering.* 2020; 31: 101394.
23. Wang W., Lu C. Time-varying law of rebar corrosion rate in fly ash concrete. *Journal of hazardous materials.* 2018; 360: 520–528.
24. Wang X. Y., Lee H. S. Effect of global warming on the proportional design of low CO₂ slag-blended concrete. *Construction and Building Materials.* 2019; 225: 1140–1151.
25. Yan X., Jiang L., Guo M., Chen Y., Song Z., Bian R. Evaluation of sulfate resistance of slag contained concrete under steam curing. *Construction and Building Materials.* 2019; 195: 231–237.
26. Teixeira E. R., Camões A., Branco F. G., Aguiar J. B., Figueiro R. Recycling of biomass and coal fly ash as cement replacement material and its effect on hydration and carbonation of concrete. *Waste Management.* 2019; 94: 39–48.
27. Duffó G. S., Reinoso M., Ramos C. P., Farina S. B. Characterization of steel rebars embedded in a 70-year old concrete structure. *Cement and concrete research.* 2012; 42(1): 111–117.
28. Khan I., François R., Castel A. Prediction of reinforcement corrosion using corrosion induced cracks width in corroded reinforced concrete beams. *Cement and concrete research.* 2014; 56: 84–96.
29. Elkady H.M., Yasien A.M., Elfeky M. S., Serag M.E. Assessment of mechanical strength of nano silica concrete (NSC) subjected to elevated temperatures. *Journal of Structural Fire Engineering.* 2019.
30. Batis G., Pantazopoulou P., Tsivilis S., Badogiannis E. The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars. *Cement and Concrete Composites.* 2005; 27(1): 125–130.
31. Borade A. N., Kondraivendhan B. Effect of metakaolin and slag blended cement on corrosion behaviour of concrete. In: *Proceedings of the 2nd international conference on civil engineering and materials science.* 2017; 216.
32. Siddique R., Klaus J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science.* 2009; 43(3–4): 392–400.
33. Ramezaniapour A.A., Jovein H.B. Influence of metakaolin as supplementary cementing material on strength and durability of concretes. *Construction and Building materials.* 2012; 30: 470–479.
34. Gameiro A.L., Santos Silva A., Veiga M.D.R., Velosa A.L. Lime-metakaolin hydration products: a microscopy analysis. *Materiali in tehnologije*, 2012; 46(2): 145–148.
35. Youssef P., El-Feky M.S., Serag M.I. The Influence of Nano silica surface area on its reactivity in cement composites. *Int J SciEng Res.* 2017; 8: 2016–2024.
36. El-Feky M.S., El-Khodary S.A., Morsy M. Optimization of hybrid cement composite with carbon nanotubes and nano silica using response surface design. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(The First International Conference on Molecular Modeling and Spectroscopy 19-22 February, 2019). 2019; 57–67.
37. Serag M.I., Yasien A.M., El-Feky M. S., Elkady H. Effect of nano silica on concrete bond strength modes of failure. *Int J GEOMATE.* 2017; 12: 2892–2899.
38. El-Feky M. S., Serag M. I., Yasien A. M., Elkady H. Bond strength of nano silica concrete subjected to corrosive environments. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2016; 11(23): 13909–13924.
39. Hamed N., El-Feky M.S., Kohail M., Nasr E.S. A. Effect of nano-clay de-agglomeration on mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials.* 2019; 205: 245–256.
40. El-Feky M.S., Youssef P., El-Tair A., Serag M. Indirect sonication effect on the dispersion, reactivity, and microstructure of ordinary portland cement matrix. *AIMS Materials Science.* 2019; 6(5): 781–797.
41. Sikora P., Lootens D., Liard M., Stephan D. The effects of seawater and nanosilica on the performance of blended cements and composites. *Applied Nanoscience.* 2020; 1–18.
42. AbdElrahman M., Chung S. Y., Sikora P., Rucinska T., Stephan D. Influence of nanosilica on mechanical properties, sorptivity, and microstructure of lightweight concrete. *Materials.* 2019; 12(19): 3078.
43. El-Tair A. M., El-Feky M. S., Sharobim K. G., Mohammedin H., Kohail M. Improving the reactivity of clay nano-particles in high strength mortars through indirect sonication method. *Int J SciTechnol Res.* 2020; 9: 1045–1054.
44. Elkady H., Serag M. I., Elfeky M. S. Effect of nano silica de-agglomeration, and methods of adding super-plasticizer on the compressive strength, and workability of nano silica concrete. *Civil and environmental research.* 2013; 3(2): 21–34.
45. ASTM C150-02 Standard Specification for Portland cement, Annual book of ASTM standards, 2002.
46. ASTM C33, Standard Specification for concrete aggregate.
47. CRD-C48-92, Standard test method for water permeability of concrete.
48. ASTM A944-10, Standard test method for comparing bond strength of steel reinforcing bars to concrete using beam-end specimens.
49. ASTM C876-15, Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete.
50. ASTM C1202, Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration.

51. Keleştemur O., Demirel B. Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2015; 81: 172–178.
52. Eskandari-Naddaf H., Ziaei-Nia A. Simultaneous effect of nano and micro silica on corrosion behaviour of reinforcement in concrete containing cement strength grade of C-525. *Procedia Manufacturing*. 2018; 22: 399–405.
53. Serag M., Elkady H., Elfeky M. The effect of indirect sonication on the reactivity of nano silica concrete. *International Jr. of scientific and engineering research, IJSER*. 2014; 12: 334–345.
54. Gamal H. A., El-Feky M. S., Alharbi Y. R., Abadel A. A., Kohail M. Enhancement of the concrete durability with hybrid nano materials. *Sustainability*. 2021; 13(3): 1373.
55. Arandigoyen M., Alvarez J. I. Blended pastes of cement and lime: Pore structure and capillary porosity. *Applied surface science*. 2006; 252(23): 8077–8085.
56. Shi J. J., Sun W. Effects of phosphate on the chloride-induced corrosion behavior of reinforcing steel in mortars. *Cement and Concrete Composites*. 2014; 45: 166–175.
57. Civjan S. A., LaFave J. M., Trybulski J., Lovett D., Lima J., Pfeifer D. W. Effectiveness of corrosion inhibiting admixture combinations in structural concrete. *Cement and Concrete composites*. 2005; 27(6): 688–703.
58. Ghasemi A.R., Parhizkar T., Ramezaniannpour A.A. Influence of colloidal nano-SiO₂ addition as silica fume replacement material in properties of concrete. In: *Proceeding, Second international conference on sustainable construction materials and technologies*. 2010, p. 28–30.
59. Du H., Du S., Liu X. Effect of nano-silica on the mechanical and transport properties of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2015; 82, 114–122.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.Maher El-Tair – Assistant Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Engineering and Material Science, German University, Cairo, Egypt, ahmed.eltair@guc.edu.eg, <https://orcid.org/0000-0003-2132-8112>

M.S. El-Feky – Associate Professor, Civil Engineering Department, National Research Centre, Cairo, Egypt, ms.el-feky@nrc.sci.eg, <https://orcid.org/0000-0003-4805-721X>

Alaa Mohsen – Assistant Professor, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt, alaa.mohsen@eng.asu.edu.eg, <https://orcid.org/0000-0003-2568-7534>

M. Kohail – Associate Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt, m.kohail@eng.asu.edu.eg, <https://orcid.org/0000-0001-5220-1849>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

A.Maher El-Tair – Performed experiments, analyzed data, and co-wrote the paper.

M.S. El-Feky – Designed and performed experiments, analyzed data, and revised the manuscript.

Alaa Mohsen – Performed experiments, analyzed data, and co-wrote the paper.

M. Kohail – Analyzed data, and revised the manuscript.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 06.08.2021; approved after reviewing 10.09.2021; accepted for publication 16.09.2021.



Свойства нанобетона, подверженного ускоренной коррозии

А. Махер Эль-Таир^{1*} , М.С. Эль-Феки² , Алаа Мохсен³ , М. Кохаиль³

¹ Немецкий Университет, Каир, Египет

² Национальный исследовательский центр, Каир, Египет

³ Университет Айн Шамс, Каир, Египет

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: ahmed.eltair@guc.edu.eg

АННОТАЦИЯ: Введение. Многие исследования были посвящены улучшению технологических качеств бетона, подверженного суровым условиям, а также повышению его коррозионной устойчивости. Применение наноматериалов является одним из недавно применяемых методов для улучшения характеристик бетона. В данной работе было проведено сравнение свойств нанокремнезёма и наноглины в процессе улучшения прочности бетона. **Методы и материалы.** Экспериментальная программа проводилась посредством изучения водопоглощения, водопроницаемости, тестирования активной проницаемости хлорида, коррозионной устойчивости, прочности связей стальной арматуры до и после подвергания коррозии и в завершении – изучением микроструктуры. Нанокремнезем и наноглина были добавлены в количестве 1%, 3%, и 5% массовых долей в качестве частичной замены по весу цемента. **Результаты.** Использование нанокремнезёма и наноглины оказало значительный эффект на сокращение проницаемости и пористости бетона, а также улучшило коррозионную стойкость бетона. По сравнению с нанокремнеземом наноглина значительно сильнее повлияла на свойства бетона: так, стойкость к водопоглощению смесей на основе наноглины возросла на 87%, в то время как этот же показатель для смесей на основе нанокремнезёма составил всего 51%. Для смесей на основе наноглины проникновение ионов хлорида сократилось на 72%, а для нанокремнеземных смесей – 28%. **Обсуждение.** Эффект, производимый наноглиной на прочностные свойства бетона, превосходит тот, что порождается нанокремнеземом; плоская форма частиц наноглины способствовала улучшению микроструктуры цементной матрицы за счет демпфирующего эффекта, а также благодаря заполняющему эффекту в микроструктуре матрицы, что сокращает проникновение ионов хлорида и улучшает водопоглощение и водопроницаемость бетона. **Заключение (выводы).** Оптимальное процентное соотношение нанокремнезёма составляет 1% массовой доли цемента в качестве частичного заменителя цемента по весу. Однако для наноглины этот показатель равен 5%, т.к. это приводит к наилучшему результату в повышении прочностных свойствах бетона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанокремнезем, наноглина, проницаемость, проникновение хлорида, прочность связей, коррозионная стойкость, анализ микроструктуры.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Махер Эль-Таир А., Эль-Феки М.С., Мохсен Алаа, Кохаиль М. Свойства нанобетона, подверженного ускоренной коррозии // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 5. С. 293–305. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-293-305>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. “The Report Egypt 2016”, reported submitted by Oxford Business Group, www.oxfordbusinessgroup.com.
2. “Environmental and social impact assessment (ESIA) for Egyptian EETC 500 kV transmission lines project”, reported by EcoConServ, Sept. 2015.
3. Angst U. M. Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *Materials and Structures*. 2018; 51(1): 1–20.
4. Quraishi M. A., Nayak D. K., Kumar R., Kumar V. Corrosion of reinforced steel in concrete and its control: An overview. *Journal of Steel Structures and Construction*. 2017; 3(1): 1–6.

© Махер Эль-Таир А., Эль-Феки М.С., Мохсен Алаа, Кохаиль М., 2021

5. Guevara B., Juárez C., Fajardo G., Castro-Borges P. Shear strength behaviour on corrosion damaged stirrups of reinforced concrete beams. *Revista Ingeniería de Construcción*. 2011; 24(3): 259–270.
6. Angst U., Elsener B., Larsen C. K., Vennesland Ø. Critical chloride content in reinforced concrete – a review. *Cement and concrete research*. 2009; 39(12): 1122–1138.
7. Moser R. D., Singh P. M., Kahn L. F., Kurtis K. E. Chloride-induced corrosion resistance of high-strength stainless steels in simulated alkaline and carbonated concrete pore solutions. *Corrosion Science*. 2012; 57: 241–253.
8. Ahmad S. Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction – a review. *Cement and concrete composites*. 2003; 25(4-5): 459–471.
9. Gerengi H., Kocak Y., Jazdzewska A., Kurtay M., Durgun H. Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid. *Construction and Building Materials*. 2013; 49: 471–477.
10. Pradhan B., Bhattacharjee B. Rebar corrosion in chloride environment. *Construction and Building Materials*. 2011; 25(5): 2565–2575.
11. Pradhan B., Bhattacharjee B. Performance evaluation of rebar in chloride contaminated concrete by corrosion rate. *Construction and building materials*. 2009; 23(6): 2346–2356.
12. EGüneyisi E., Gesoğlu M., Karaboğa F., Mermerdaş K. Corrosion behavior of reinforcing steel embedded in chloride contaminated concretes with and without metakaolin. *Composites Part B: Engineering*. 2013; 45(1): 1288–1295.
13. Sharobim K. G., Mohammedin H., Hanna N. F., El-Feky M. S., Khattab E., El-Tair A. M. Optimizing sonication time and solid to liquid ratio of nano-silica in high strength mortars. *Int J Curr Trends Eng Res*. 2017; 3: 6–16.
14. Sharobim K. G., Mohamadien H. A., Hanna N. F., El-Feky M. S., Khattab E., El-Tair A. M. Optimizing sonication time and solid to liquid ratio of nano-silica in high strength concrete. *Int J Sci Eng Res*. 2017; 8: 687–693.
15. El-Feky M. S., El-Rayes M. The Effect of Nano Cellulose Synthesized from Rice Straw on the Performance of Cement Composite Reinforced with Carbon Nano Tubes. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2019; 8(10): 2401–2410.
16. El-Feky M. S., El-Tair A. M., Kohail M., Serag M. I. Nano-fibrillated cellulose as a green alternative to carbon nanotubes in nano reinforced cement composites. *Int J Innov Technol Explor Eng*. 2019; 8: 484–491.
17. El-Feky M. S., Youssef P., El-Tair A. M., Ibrahim S., Serag M. Effect of nano silica addition on enhancing the performance of cement composites reinforced with nano cellulose fibers. *AIMS Materials Science*. 2019; 6(6): 864–883.
18. El-Feky M. S., El-Khodary S. A., Morsy M. Optimization of hybrid cement composite with carbon nanotubes and nano silica using response surface design. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(The First International Conference on Molecular Modeling and Spectroscopy 19-22 February, 2019), 2019; 57–67.
19. Hashem M. M., Serag M. I., Elkady H., El-Feky M. Increasing the reactivity of silica fume particles using indirect sonication: effect of process parameters. *Civ Environ Res*. 2015; 2: 537–557.
20. Mohamadien, H. A. The Effect of marble powder and silica fume as partial replacement for cement on mortar. *International journal of civil and structural engineering*. 2012; 3(2): 418.
21. Karaşın A., Doğruyol M. An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
22. Zhou Q., Lu C., Wang W., Wei S., Lu C., Hao M. Effect of fly ash and sustained uniaxial compressive loading on chloride diffusion in concrete. *Journal of Building Engineering*. 2020; 31: 101394.
23. Wang W., Lu C. Time-varying law of rebar corrosion rate in fly ash concrete. *Journal of hazardous materials*. 2018; 360: 520–528.
24. Wang X. Y., Lee H. S. Effect of global warming on the proportional design of low CO₂ slag-blended concrete. *Construction and Building Materials*. 2019; 225: 1140–1151.
25. Yan X., Jiang L., Guo M., Chen Y., Song Z., Bian R. Evaluation of sulfate resistance of slag contained concrete under steam curing. *Construction and Building Materials*. 2019; 195: 231–237.
26. Teixeira E. R., Camões A., Branco F. G., Aguiar J. B., Figueiro R. Recycling of biomass and coal fly ash as cement replacement material and its effect on hydration and carbonation of concrete. *Waste Management*. 2019; 94: 39–48.
27. Duffó G. S., Reinoso M., Ramos C. P., Farina S. B. Characterization of steel rebars embedded in a 70-year old concrete structure. *Cement and concrete research*. 2012; 42(1): 111–117.
28. Khan I., François R., Castel A. Prediction of reinforcement corrosion using corrosion induced cracks width in corroded reinforced concrete beams. *Cement and concrete research*. 2014; 56: 84–96.
29. Elkady H. M., Yasien A. M., Elfeky M. S., Serag M. E. Assessment of mechanical strength of nano silica concrete (NSC) subjected to elevated temperatures. *Journal of Structural Fire Engineering*. 2019.
30. Batis G., Pantazopoulou P., Tsivilis S., Badogiannis E. The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars. *Cement and Concrete Composites*. 2005; 27(1): 125–130.

31. Borade A. N., Kondraivendhan B. Effect of metakaolin and slag blended cement on corrosion behaviour of concrete. In: Proceedings of the 2nd international conference on civil engineering and materials science. 2017; 216.
32. Siddique R., Klaus J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science*. 2009; 43(3–4): 392–400.
33. Ramezani pour A.A., Jovein H.B. Influence of metakaolin as supplementary cementing material on strength and durability of concretes. *Construction and Building materials*. 2012; 30: 470–479.
34. Gameiro A.L., Santos Silva A., Veiga M.D.R., Velosa A.L. Lime-metakaolin hydration products: a microscopy analysis. *Materiali in tehnologije*, 2012; 46(2): 145–148.
35. Youssef P., El-Feky M.S., Serag M.I. The Influence of Nano silica surface area on its reactivity in cement composites. *Int J SciEng Res*. 2017; 8: 2016–2024.
36. El-Feky M.S., El-Khodary S.A., Morsy M. Optimization of hybrid cement composite with carbon nanotubes and nano silica using response surface design. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(The First International Conference on Molecular Modeling and Spectroscopy 19-22 February, 2019). 2019; 57–67.
37. Serag M.I., Yasien A.M., El-Feky M. S., Elkady H. Effect of nano silica on concrete bond strength modes of failure. *Int J GEOMATE*. 2017; 12: 2892–2899.
38. El-Feky M. S., Serag M. I., Yasien A. M., Elkady H. Bond strength of nano silica concrete subjected to corrosive environments. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016; 11(23): 13909–13924.
39. Hamed N., El-Feky M.S., Kohail M., Nasr E.S. A. Effect of nano-clay de-agglomeration on mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 2019; 205: 245–256.
40. El-Feky M.S., Youssef P., El-Tair A., Serag M. Indirect sonication effect on the dispersion, reactivity, and microstructure of ordinary portland cement matrix. *AIMS Materials Science*. 2019; 6(5): 781–797.
41. Sikora P., Lootens D., Liard M., Stephan D. The effects of seawater and nanosilica on the performance of blended cements and composites. *Applied Nanoscience*. 2020; 1–18.
42. AbdElrahman M., Chung S. Y., Sikora P., Rucinska T., Stephan D. Influence of nanosilica on mechanical properties, sorptivity, and microstructure of lightweight concrete. *Materials*. 2019; 12(19): 3078.
43. El-Tair A. M., El-Feky M. S., Sharobim K. G., Mohammedin H., Kohail M. Improving the reactivity of clay nanoparticles in high strength mortars through indirect sonication method. *Int J SciTechnol Res*. 2020; 9: 1045–1054.
44. Elkady H., Serag M. I., Elfeky M. S. Effect of nano silica de-agglomeration, and methods of adding super-plasticizer on the compressive strength, and workability of nano silica concrete. *Civil and environmental research*. 2013; 3(2): 21–34.
45. ASTM C150-02 Standard Specification for Portland cement, Annual book of ASTM standards, 2002.
46. ASTM C33, Standard Specification for concrete aggregate.
47. CRD-C48-92, Standard test method for water permeability of concrete.
48. ASTM A944-10, Standard test method for comparing bond strength of steel reinforcing bars to concrete using beam-end specimens.
49. ASTM C876-15, Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete.
50. ASTM C1202, Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration.
51. Keleştemur O., Demirel B. Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2015; 81: 172–178.
52. Eskandari-Naddaf H., Ziaei-Nia A. Simultaneous effect of nano and micro silica on corrosion behaviour of reinforcement in concrete containing cement strength grade of C-525. *Procedia Manufacturing*. 2018; 22: 399–405.
53. Serag M., Elkady H., Elfeky M. The effect of indirect sonication on the reactivity of nano silica concrete. *International Jr. of scientific and engineering research, IJSER*. 2014; 12: 334–345.
54. Gamal H. A., El-Feky M. S., Alharbi Y. R., Abadel A. A., Kohail M. Enhancement of the concrete durability with hybrid nano materials. *Sustainability*. 2021; 13(3): 1373.
55. Arandigoyen M., Alvarez J. I. Blended pastes of cement and lime: Pore structure and capillary porosity. *Applied surface science*. 2006; 252(23): 8077–8085.
56. Shi J. J., Sun W. Effects of phosphate on the chloride-induced corrosion behavior of reinforcing steel in mortars. *Cement and Concrete Composites*. 2014; 45: 166–175.
57. Civjan S. A., LaFave J. M., Trybulski J., Lovett D., Lima J., Pfeifer D. W. Effectiveness of corrosion inhibiting admixture combinations in structural concrete. *Cement and Concrete composites*. 2005; 27(6): 688–703.
58. Ghasemi A.R., Parhizkar T., Ramezani pour A.A. Influence of colloidal nano-SiO₂ addition as silica fume replacement material in properties of concrete. In: *Proceeding, Second international conference on sustainable construction materials and technologies*. 2010, p. 28–30.
59. Du H., Du S., Liu X. Effect of nano-silica on the mechanical and transport properties of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2015; 82, 114–122.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

А. Махер Эль-Таир – доцент, Департамент проектирования конструкций, Факультет проектирования и материаловедения, Немецкий университет, Каир, Египет, ahmed.eltair@guc.edu.eg, <https://orcid.org/0000-0003-2132-8112>

М.С. Эль-Феки – доцент, Департамент гражданского строительства, Национальный исследовательский центр, Каир, Египет, ms.el-feky@nrc.sci.eg, <https://orcid.org/0000-0003-4805-721X>

Алаа Мохсен – доцент, инженерный факультет, Университет Айн Шамс, Каир, Египет, alaa.mohsen@eng.asu.edu.eg, <https://orcid.org/0000-0003-2568-7534>

М.- Кохаиль – Доцент кафедры строительного проектирования, инженерный факультет, Университет Айн Шамс, Каир, Египет, m.kohail@eng.asu.edu.eg, <https://orcid.org/0000-0001-5220-1849>

ВКЛАД АВТОРОВ

А. Махер Эль-Таир – проведение экспериментов, анализ данных, написание статьи в соавторстве.

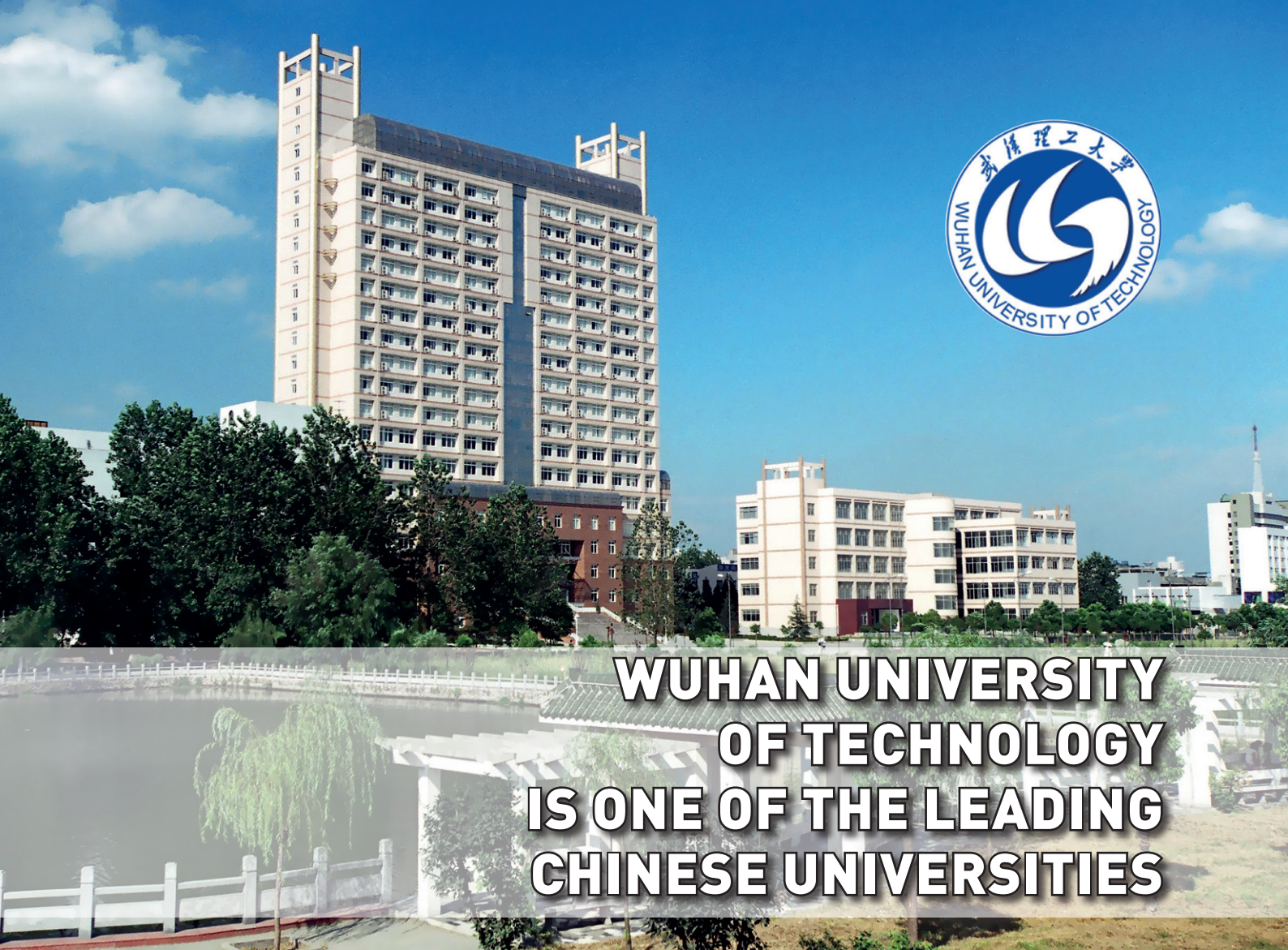
М.С. Эль-Феки – планирование и проведение экспериментов, анализ данных, проверка рукописи.

Алаа Мохсен – проведение экспериментов, анализ данных, написание статьи в соавторстве.

М.- Кохаиль – анализ данных и проверка рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 06.08.2021; одобрена после рецензирования 10.09.2021; принята к публикации 16.09.2021.



About Wuhan University of Technology

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

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

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

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

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

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

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

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





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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Contact information

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

R



УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

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

цированных кадров и инновационного центра знаний материаловедения и инженерного дела.

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

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

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

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

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

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





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

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

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов (кратко ГКЛ) — это государственная лаборатория в области передовых материалов, основанная Государственным плановым комитетом в УУТ в 1987 г. ГКЛ находится под руководством Министерства науки и технологий КНР. В настоящий момент научный комитет ГКЛ возглавляет член Китайской академии наук профессор Гу Бинглин и нынешний директор ГКЛ профессор Эфу 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 промышленности для обеспечения политики государства; ГКЛ проводит нестандартные и системные исследования мирового опыта в трансформативных технологиях и новейших материалов, а также в междисциплинарных областях, выполняя международные разработки некоторых ключевых новей-

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

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

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

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

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

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

Контактная информация

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

R



Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part V ¹⁾

Leonid A. Ivanov^{1*} , Li D. Xu² , Konstantin E. Razumeev³ , Valentina M. Feoktistova⁴ , Petr S. Prokopiev⁵

¹ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

² Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA

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

⁴ Russian State University of Tourism and Service; Cherkizovo, Moscow region, Russia

⁵ Financial University Under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

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

ABSTRACT: Introduction. Advanced technologies impress people's imagination demonstrating the latest achievements (materials, methods, systems, technologies, devices etc.) that dramatically change the world. This, first of all, concerns nanotechnological inventions designed by scientists, engineers and specialists from different countries. **Main part.** The article provides an abstract overview of inventions of scientists, engineers and specialists from different countries: Russia, USA, China, Belarus, Italy. The results of the creative activity of scientists, engineers and specialists, including inventions in the field of nanotechnology and nanomaterials allow, when introduced to industry, achieving a significant effect in construction, housing and communal services, and related sectors of the economy. For example, the invention «Protective coating and method of its application» relates to the field of protecting metals from corrosion. To obtain a protective coating, a composition containing an industrial oil with a powder of a phosphorus-modified copper-carbon nanocomposite is applied to the surface of an unalloyed steel and subjected to thermochemical activation by heating for 20 minutes at a temperature of 100–200°C. During the formation of the coating, strong donor-acceptor bonds of iron atoms with phosphorus, which are in the composition of the copper-carbon nanocomposite, are formed. In the course of experiments, it was found that heating samples with a coating of oil with the addition of a phosphorus-modified copper-carbon nanocomposite to 100–200°C increases the chemical activity of the nanocomposite, as a result of which a protective coating forms on the surface, which reduces the corrosion rate depending on the concentration of the modified metal-carbon nanocomposite. by 70–95%. The following inventions in the field of nanotechnology are also of interest to specialists: a method for obtaining a nanostructured surface of a metal workpiece by laser treatment, a device for producing nanodispersed metal oxides, a method for producing a nanostructured composite material based on aluminum, a method for modifying the surfaces of plates of a brazed plate heat exchanger, etc. **Conclusion.** One of the most challenging tasks the economy of every country face is to increase industrial competitiveness through technological upgrade. From the side of the state and companies the principal object to control in this process are the people and enterprises dealing with introduction of inventions and new technologies.

KEYWORDS: nanotechnologies in construction, nanoscale materials, nanocomposites, nanodispersed metal oxides, nanostructuring.

FOR CITATION: Ivanov L.A., Xu L.D., Razumeev K.E., Feoktistova V.M., Prokopiev P.S. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part V. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5): 311–318. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-311-318>

INTRODUCTION

Advanced technologies impress people's imagination demonstrating the latest achievements (materials,

methods, systems, technologies, devices etc.) that dramatically change the world. This primarily concerns nanotechnological inventions designed by scientists, engineers and specialists from different countries.

¹⁾ Continuation. Part I – Part IV have been published in the journal «Nanotechnologies in Construction», volume 13, issues 1–4, 2021.

© Ivanov L.A., Xu L.D., Razumeev K.E., Feoktistova V.M., Prokopiev P.S., 2021

MAIN PART

A method of obtaining a nanostructured surface of a metal workpiece by laser processing (RU 2752821 C1)

Nanoscale structures are characterized by the peculiarities that the processes under consideration and the actions performed take place in the nanometer range of spatial dimensions, where the initial material is individual atoms, molecules, and molecular systems. Therefore, in contrast to traditional technology, nanotechnology is characterized by an “individual” approach, in which external control reaches individual atoms and molecules, which makes it possible to create nanoscale materials from them with a controlled structure and fundamentally new physicochemical properties - optical, electrical, magnetic, corrosion-resistant, including those that improve the mechanical and tribotechnical properties of the surface. Based on the foregoing, the new achieved technical result of the proposed invention is provided by the following technical advantages over the prototype [1]:

1. Improved quality of joining of dissimilar (different in chemical composition) metal workpieces during diffusion welding is achieved - an increase by at least 14% of the ultimate strength of the welded joint due to preliminary nanostructuring of the surface of the metal workpiece is obtained.

2. During nanostructuring, a change in the initial physicochemical properties of the surface of a metal workpiece is provided - adhesive, optical, electrical, magnetic, corrosion-resistant, including those that improve the mechanical and tribotechnical properties of the surface, due to the formation of micron and submicron structures with a single scanning focused laser beam. The resulting surface structures have the form of micro-furrows, micropores, curved channels, microcones with transverse dimensions from 1 to 5 μm , as well as spherical structures with a diameter of about 500 nm on cylindrical supports-legs (microjets) with a width of about 300 nm.

Foam gel (RU 2753652 C1)

The invention relates to the field of obtaining a foamed silica gel, structured with nanoadditives, which can be used as a low-density stemming of blast holes or boreholes when crushing a rock mass in the extraction of solid minerals [2].

A foam gel comprising aqueous solutions of liquid glass, a coagulator and a foaming agent, mixed with compressed air, and used in the construction of a borehole charge as a dam, an inert gap and a bottom compensator, characterized in that, in order to increase stability, it additionally contains a silicasol nanoadditive “Nanosil-30”,

as a coagulator contains a mixture of iron chloride and phosphoric acid, and as a foaming agent

The technical result is achieved by the fact that the most accessible and cheapest component sodium silicate 10–15% of the mass is used as the starting materials; as a nanoadditive is used “Nanosil-30” 0.05–0.15% of the mass, which enhances the sol-gel process; orthophosphoric acid 5–8% of the mass; ferric chloride 0.1–0.3% of the mass; foaming agent ABSK 3–5% of the mass and water 71.55–81.85% of the mass. Depending on the amount of compressed air, the foam gel ratio varies from 5 to 15 units. Since it is known that foam gel of medium and high expansion is not effective for stemming blastholes, that is, it does not ensure the locking of the explosion products.

High performance metal alloy for additive manufacturing of machine parts (RU 2750946 C1)

Internal combustion engine parts such as gas turbine parts (eg blades, nozzles, shrouds, combustion chambers) must be made of metal alloys designed to withstand high temperature operating conditions. This is especially true for parts that are located close to the combustion chambers of the gas turbine, such as the turbine nozzles. The temperature of the working gas generated by the combustion products in the first stage nozzles can be 1100°C or higher, while in the downstream turbine stage the temperature drops to about 650–700°C.

Special high-temperature nickel-based alloys are used to produce rotating parts such as turbine first stage blades. These alloys are costly, but are required in terms of the need to withstand the combined stress of high temperature and high dynamic stresses generated in the rotor part of the turbomachine.

The invention relates to metallurgy, namely to a metal alloy with high performance characteristics and can be used for the additive production of machine parts, in particular a gas turbine nozzle [3]. A metal alloy for the manufacture of a gas turbine nozzle by the method of additive production, consisting of, wt%: O 0.01–0.05, N 0.005–0.025, S less than 0.003, C 0.005–0.07, Mn 0.6–0.8, Si 0.8–1.0, P less than 0.04, Cr 27–33, Ni 11–12, W 5–9, Fe 0.4–0.7, Ta less than 0.001, B less than 0.003, Cu less than 0.001, Zr less than 0.003, Co - the rest. The alloy is characterized by high performance characteristics, namely high resistance to high-temperature oxidation and corrosion, high thermal fatigue resistance, and satisfactory weldability.

Device for producing nanodispersed metal oxides (RU 2752756 C1)

The invention relates to the chemical industry and metallurgy [4]. The device for obtaining nanodispersed

metal oxides (Fig. 1) contains a line 1 for the preparation of precursors and a line 2 for hydrothermal synthesis, equipped with reactors, centrifuges and containers. Line 1 includes the first reactor 3 – for preparing the precipitant solution, connected to the second reactor 6 – for preparing the precursor suspension. Reactor 3 is connected to vessel 4 with a precipitant and vessel 5 with distilled water. A measuring tank 7 with a nitrate salt solution is connected to the reactor 6. Reactor 6 is connected to decanter 8, which in turn communicates with tank for decantate 9 and with first centrifuge 10. Line 2 is equipped with reactor 11 for hydrothermal synthesis, connected by means of elevator 12 to the first centrifuge 10. Tank 5 is connected to the inlet of reactor 11. distilled water, connected to the decanter 8, and to the outlet of the reactor 11 is connected the second centrifuge 10, the outlet of which is connected to the dryer 13. Reactors 3 and 6 are made in the form of closed containers, on the outer sides of which are mounted heat exchange jackets, and inside – anchor-type agitators. The reactor 11 is made in the form of an autoclave, installed on a stirring device and connected to the controller with the ability to set and maintain a predetermined temperature regime. The device allows you to obtain various nanodispersed metal oxides

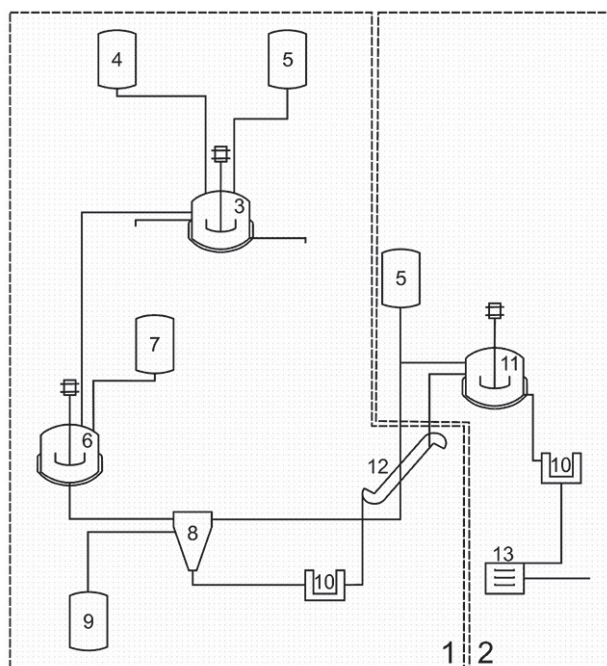


Fig. 1. Technological scheme for obtaining nanodispersed metal oxides by the method of hydrothermal synthesis, where 1 – precursor preparation line, 2 – hydrothermal synthesis line, 3 – first reactor, 4 – vessel with precipitant, 5 – vessels with distilled water, 6 – second reactor, 7 – measuring tank, 8 – decanter, 9 – container for decantate, 10 – centrifuges, 11 – third reactor, 12 – elevator, 13 – dryer.

without re-equipment, maintain optimal technological modes and reliably control the process.

The technical result is achieved due to the fact that tanks with a precipitant and with distilled water are connected to the first reactor, a measuring tank with a solution of nitrate salt is connected to the second reactor, while this reactor is connected to a decanter, which, in turn, is connected to a tank for decantate and with the first centrifuge, and the device additionally contains a hydrothermal synthesis line equipped with a third reactor – for hydrothermal synthesis, connected by means of a lift with the outlet of the specified centrifuge, a container with distilled water connected to a decanter is connected to the inlet of the third reactor, and a second centrifuge is connected to the outlet of the third reactor, the outlet of which is connected to the dryer. In particular, the first and second reactors are designed as closed containers. In particular, heat exchange jackets are mounted on the outside of the first and second reactors. In particular, anchor-type agitators are mounted in the first and second reactors. In particular, the third reactor is designed as an autoclave. In particular, the third reactor is mounted on a mixing device. In particular, the third reactor is connected to the controller with the ability to set and maintain a predetermined temperature regime.

Method of welding parts made of heat-resistant nickel-based alloys using laser radiation (RU 2752822 C1)

In power plants, two-layer welded pipes made of heat-resistant nickel alloy and heat-resistant bronze with high thermal conductivity are often used, and they are joined together by diffusion welding. Although the implementation of diffusion welding in a vacuum or in an inert gas atmosphere expands the technological capabilities of this welding method, at present the problem of improving the quality of the joint and expanding the permissible temperature regime of welding is still urgent.

Improvement of the mechanical characteristics of welded joints during diffusion welding is possible due to the formation of various ordered structures on the surfaces to be welded, including the micron and submicron scale. To create them, such technological methods as laser modification of the surfaces of the workpieces being welded can be used. Direct laser nanostructuring with nanosecond pulses can become a promising method for the formation of a nanostructure on a metal surface. The ultraviolet region of the spectrum of laser radiation is more preferable due to the higher absorption of radiation by metals compared to the visible and infrared regions of the spectrum. The effective effect of laser radiation on a thin ($\sim 1 \mu\text{m}$) surface layer of a metal makes it possible to obtain various micro- and nanostructures with specified parameters.

The invention relates to a method for welding parts made of heat-resistant alloys on a nickel base and can be used in various sectors of mechanical engineering and metallurgy [5]. The technical result of the invention is to improve the quality of the connection of the parts to be welded. The method includes processing with laser radiation of a nanosecond pulsed laser at a cooling rate of the nanostructured surface, providing the formation of relief structures on it with a size of less than 100 nm. The overlap ratio of the laser beam spots is defined as the ratio of the area treated with two laser pulses to the area of one laser beam spot. After nanostructuring the surfaces of parts made of high-temperature nickel-based alloys, their diffusion welding is performed in a sealed chamber by the action of pressure and heating of the parts to be welded from high-temperature nickel-based alloys in a vacuum or in an inert gas environment.

A method for producing a nanostructured composite material based on aluminum (RU 2751401 C2)

The invention relates to a method for producing a nanostructured composite material based on aluminum modified with C60 fullerene, with improved physical and mechanical properties, for use in mechanical engineering and aerospace [6].

Aluminum-based nanostructured composite materials modified with C60 fullerene demonstrate an increased level of mechanical properties. For nanostructured composites of this kind, it is known that with a decrease in the average crystallite size of the matrix, the strength properties increase, while at the initial stages there is a laminar decrease in plasticity proportional to the decrease in the average crystallite size, and then, when the critical value of the average crystallite size is reached, there is a sharp decrease in plasticity almost to zero values. Therefore, the control of the properties of bulk nanostructured composite materials only by reducing the structural elements of the material is severely limited.

The problem to be solved by this invention is aimed at creating a nanostructured composite material with a duplex structure based on aluminum modified with C60 fullerene, with improved physical and mechanical properties for use in mechanical engineering and the aerospace industry. The task is solved due to the precise control of the chemical and phase composition of the powders, ensuring the average size of aluminum crystallites ≤ 70 nm in a fine-crystalline powder and in the range of 70–150 nm in a coarse-crystalline one, due to strict adherence to the 1: 1 ratio of two types of powders in the final material, as well as due to their mixing at the level of individual crystallites. Powder of fullerene C60 in crystalline form in an amount of 0.1–5–0.5 wt.% is used as a modifying carbon phase.

The technical result is to increase the plasticity of a nanostructured composite material with a duplex structure based on aluminum modified with C60 fullerene, with insignificant losses in strength characteristics. A method for producing a nanostructured composite material with a duplex structure based on aluminum includes several stages of component preparation: 1 – preparation of coarse-crystalline powders; 2 – preparation of fine crystalline powders; 3 – mixing coarse and fine crystalline powders; 4 – consolidation of the obtained powder mixture by the method of severe plastic deformation – direct hot extrusion.

A method for producing a composite material with oriented carbon nanotubes (RU 2751882 C1)

The invention relates to the field of production of composite materials, consisting of a reinforcing material, a polymer matrix and a filler, in the role of which are carbon nanotubes, and can be used to create composite materials with increased strength due to the use of a uniform constant electric field that destroys agglomerates of carbon nanotubes and orienting nanotubes [7]. A method for producing a composite material with oriented carbon nanotubes, which consists in creating a polymer composite material with oriented nanotubes using an electric field, where the reinforcing material is passed through an impregnating bath containing a polymer binder and carbon nanotubes in the direction of the intensity vector of a uniform constant electric field that occurs when a constant electric field is applied. electric current, destroying agglomerates of carbon nanotubes and orienting the nanotubes along the direction of movement of the reinforcing material.

The technical result is achieved by the fact that in the method of producing a composite material with oriented carbon nanotubes, which consists in creating a polymer composite material with oriented nanotubes using an electric field, the reinforcing material is passed through an impregnating bath containing a polymer binder and carbon nanotubes in the direction of the uniform constant electric stress vector. field arising when a direct electric current is applied, destroying agglomerates of carbon nanotubes and orienting the nanotubes along the direction of movement of the reinforcing material.

The invention is illustrated in Fig. 2 and Fig. 3.

The method of producing a composite material with oriented carbon nanotubes consists in creating a polymer composite material with oriented nanotubes using an electric field, while the reinforcing material 1 is passed through an impregnating bath 2 containing a polymer binder 11 and carbon nanotubes 10 in the direction of the intensity vector of a uniform constant electric field, arising from the supply of direct electric current, destroying the agglomerates of carbon nanotubes 10 and orienting

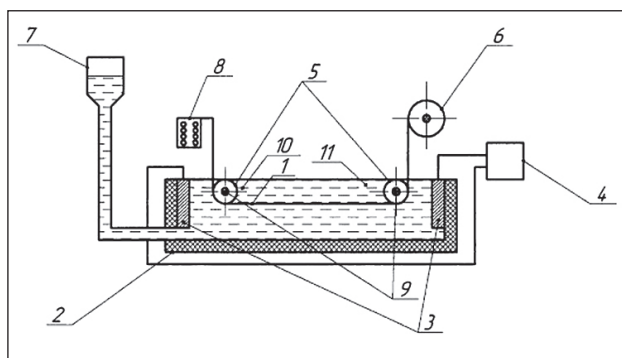


Fig. 2. Schematic diagram of the installation, where 1 – reinforcing material, 2 – impregnating bath, 3 – covers, 4 – orienting block, 5 – rollers, 6 – mandrel, 7 – container with a binder, 8 – creel, 9 – axes, 10 – carbon nanotubes, 11 – polymer binder

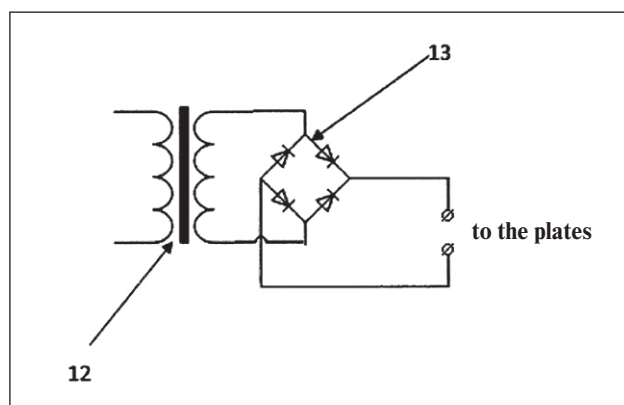


Fig. 3. Schematic diagram of the orienting unit, where 12 – transformer, 13 – diode bridge

the nanotubes along the direction of movement of the reinforcing material 1.

Protective coating and method of its application (RU 2752488 C1)

The invention relates to the field of protection of metals from corrosion [8]. The protective coating of the surface of unalloyed steel contains 5–75 wt.% Of the powder of a phosphorus-modified copper-carbon nanocomposite, distributed in industrial oil I-20. To obtain a protective coating, a composition containing industrial oil I-20 with 5–75 wt.% Of powder modified with phosphorus copper-carbon nanocomposite is applied to the surface of unalloyed steel, and subjected to thermochemical activation by heating for 20 minutes at a temperature of 100–200°C. During the formation of the coating, strong donor-acceptor bonds of iron atoms with phosphorus, which are in the composition of the copper-carbon nanocomposite, are formed, which, according to the X-ray electron spectroscopy spectra, are stable at room temperature and when heated to 500°C and above. The invention provides a high degree of protection of the surface of unalloyed steel from corrosion by obtaining strong chemical bonds between the atoms of the anticorrosive coating and its strong chemical adhesion to the surface of the steel.

The objective of the claimed invention is to simplify the composition of the resulting coating as much as possible in terms of the number of components and to use the high chemical and adsorption activity of phosphorus-modified metal-carbon nanocomposites. To achieve this task, we used a phosphorus-modified metal-carbon nanocomposite obtained by the method of mechanochemical interaction of copper-carbon nanostructures with ammonium polyphosphate. Copper-carbon nanocomposite is a nanosized copper-containing cluster stabilized by carbon fibers consisting of polyacetylene and carbene fragments with unpaired electrons at the fragments' joints. Due to this structure, the initial nanocomposite easily reacts with ammonium polyphosphate, as a result of which phosphorus is reduced and enters the carbon shell of the copper-carbon nanocomposite between the fragments of carbon fibers. In this case, phosphorus can be a linking unit (linker) with substances on the metal surface.

The technical result is achieved by the fact that the powder of this modified copper-carbon nanocomposite was mixed with the base mineral oil I-20, which in its original state (in its pure form) does not have noticeable protective properties. By mixing the I-20 oil with the powder of a phosphorus-modified copper-carbon nanocomposite, oil compositions containing from 5 to 75% of the nanocomposite were obtained. Preliminary experiments have shown that the introduction of a phosphorus-modified copper-carbon nanocomposite into mineral oil, although it increases the effectiveness of the protective coating, but it helps to reduce the corrosion rate of steel by 10–30%. In the course of experiments, it was found that heating samples with a coating of oil with the addition of a phosphorus-modified copper-carbon nanocomposite to 100–200°C increases the chemical activity of the nanocomposite, as a result of which a protective coating forms on the surface, which reduces the corrosion rate depending on the concentration of the modified metal-carbon nanocomposite. by 70–95%.

Solar energy is one of the fastest growing industries in the world economy, with an average annual growth rate of 20%. And since the cost of electricity generated by photovoltaic modules is still quite high (installed power ~\$1/W, electricity cost \$ 0.07 1 / W), ways to make it cheaper by increasing the efficiency of converting solar

Semiconductor photoelectric converter (RU 2750366 C1)

Solar energy is one of the fastest growing industries in the world economy, with an average annual growth rate of 20%. And since the cost of electricity generated by photovoltaic modules is still quite high (installed power ~\$1/W, electricity cost \$ 0.07 1 / W), ways to make it cheaper by increasing the efficiency of converting solar

radiation into electricity and increasing the generated electricity are very urgent tasks.

The invention relates to the field of direct conversion of light into electrical energy [9]. A solar cell is a multilayer structure for converting light and a layer with nanoparticles deposited on, or inside, or under an antireflection coating layer, which have photoluminescence properties under the influence of UV radiation. Since photoluminescence occurs in the region of visible light with a lower quantum energy, the flow of heat into the solar cell is reduced. To maintain or improve the efficiency of light conversion, nanoparticles must have a quantum efficiency of photoluminescence $K \geq 1$, where K is determined by the proposed calculation formula, which relates the absorption edge of the UV range by nanoparticles; the wavelength of the photoluminescence spectrum at the half-width of the photoluminescence peak, and the spectral response of the semiconductor photoelectric converter at the light wavelength λ . The design of the solar cell according to the invention increases the power generation of the solar cell by reducing the operating temperature of the cell.

The technical result of the invention is to increase the efficiency of conversion of light energy into electricity under operating conditions when the temperature of the solar cell rises and the conversion efficiency falls. The technical result is achieved due to the fact that in a semiconductor photoelectric converter containing a barrier layer for separating charge carriers in the form of a pn junction or heterojunction, an antireflection coating, a layer of nanoparticles and metallized contacts, where nanoparticles deposited on, or inside, or under a layer of an antireflection coating, have the ability to photoluminescence under the influence of UV light with a wavelength in the range of optimal sensitivity of the photoelectric converter and the quantum efficiency of photoluminescence K not less than 1, where K is determined by the proposed calculation formula.

Method for modifying the surfaces of plates of a brazed plate heat exchanger (RU 2754338 C1)

The invention relates to nanotechnology and nanostructures, in particular, to a method for producing a modified layer containing nanosized diamond phases and can be used for mechanical engineering and power engineering [10]. The objective of the invention: optimization of the parameters of the technical process for improved modification of selective areas of the surfaces of the BPHE plates by using stencils in a vacuum chamber before further joining the plates to each other by soldering or sintering.

The technical result is achieved by hardening the surface and reducing hydrodynamic losses when the content of diamond phases in the modified layer is from 5 to 15%, which leads to an increase in the service life, a decrease in

the load on the hydraulic system and an increase in the efficiency of heat transfer of the BPHE. The combination of physical features of the interaction of laser radiation with graphite makes it possible to form a modified layer containing carbon and diamond phases. The presence of diamond phases in the composition of the modified layer determines its high wear resistance and a decrease in hydrodynamic resistance.

A method for modifying the surfaces of plates of a brazed plate heat exchanger includes placing a plate and a carbon-containing target in a vacuum chamber, pumping out the chamber to the required vacuum level, laser processing the target, followed by condensation of a modified layer containing diamond phases on the surface of the plate. In this case, the application of the modified layer on the surface of the heat exchange plates is carried out by evaporation in a vacuum of $10^{-5} \dots 10^{-7}$ mmHg of a carbon-containing target with pulsed laser radiation, for processing the target, laser radiation with a wavelength of 190 to 310 nm, a pulse duration of 1 to 100 ns with a repetition rate from 10 to 100 Hz and an energy density on the target surface from 1 to 10 J/cm². The content of diamond phases in the modified layer is from 5 to 15%, and the thickness of the modified layer is from 30 to 300 nm.

The implementation of the invention is shown in Fig. 4. A BPHE plate is installed in the vacuum chamber 1. The laser beam 7 enters the chamber through the vacuum window 6 and is focused on the target surface 9. The target material evaporated as a result of laser action is transferred in the form of an expanding plasma cloud 8 to the BPHE plate surface and condenses in the form of a modified layer 3. Areas intended for applying solder paste 4 are protected from applying a modified layer using a stencil 5. A stencil is placed above the surface to be treated, the task of which is to protect the areas of the

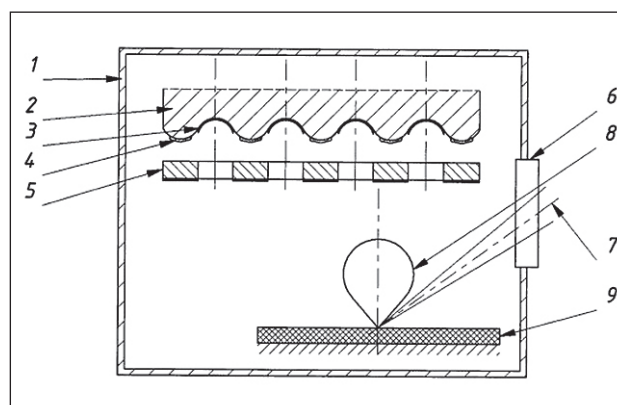


Fig. 4. Schemes for applying a modified layer, where 1 – vacuum chamber, 2 – BPHE plate, 3 – modified layer (ML), 4 – solder paste, 5 – stencil, 6 – vacuum window, 7 – laser radiation, 8 – plasma cloud, 9 – target

plate from applying MS to areas intended for subsequent formation of a junction. Thus, the MS will be applied to the surface areas of the PPTO plate that are in contact with the liquid during operation.

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

- A method to modify concrete with complex additive which includes hydrothermal nanoparticles SiO₂ and multilayer carbon nanotubes [11].
- Method of obtaining gold nanoparticles [12].
- Vacuum gas oil hydrotreating method [13].
- Method of obtaining nanocrystalline epsilon phase of iron oxide [14].
- A method to produce strengthened nanocomposite with additional properties [15].
- Growing nanotubes from free atoms [16].
- Nanoscale pulse generator [17].
- An independent free-standing graphene film and a method for its preparation [18].
- Nano-engineering of construction materials using molecular dynamics simulations [19].

- A method for transferring whisker nanocrystals to a substrate [20].
- A method of obtaining an anticorrosive coating on articles made of monolithic titanium nickelide [21].
- Integral optical sensor for the determination of impurities in gas-air environments [22].
- Development of Nanotechnology in the World and Nanotechnology Standards in Turkey [23].
- Raw material mixture for the manufacture of large-sized billets of superhard composite material [24].

CONCLUSION

One of the most challenging tasks the economy of every country face is to increase industrial competitiveness through technological upgrade. From the side of the state and companies the principal object to control in this process are the people and enterprises dealing with introduction of inventions and new technologies. Therefore, we hope that the information published in this section will be in demand and useful for specialists.

To be concluded

REFERENCES

1. Yolkin V.N., Malinsky T.V., Mikolutsky S.I. et al. Method of obtaining a nanostructured surface of a metal workpiece by laser processing. Patent RF 2752821. 2021-08-06.
2. Katanov I.B., Katanova N.A. Foam gel. Patent RF 2753652. 2021-08-09.
3. Dimatteo Antonella, Giovannetti Jacopo. Metal alloy with high performance characteristics for additive manufacturing of machine parts. Patent RF 2750946. 2021-07-06.
4. Sharikov F.Yu., Ivanov V.K., Sharikov Yu.V. Device for producing nanodispersed metal oxides. Patent RF 2752756. 2021-08-02.
5. Malinsky T.V., Mikolutsky S.I., Rogalin V.E. et al. Method of welding parts made of high-temperature alloys on a nickel base using laser radiation. Patent RF 2752822. 2021-08-06.
6. Evdokimov I.A., Gryaznova M.I., Bagramov R.Kh. et al. A method of obtaining a nanostructured composite material based on aluminum. Patent RF 2751401. 2021-07-13.
7. Krasnovsky A.N., Kishchuk P.S. A method of obtaining a composite material with oriented carbon nanotubes. Patent RF 2751882. 2021-07-19.
8. Reshetnikov S.M., Shabanova I.N., Kodolov V.I. et al. Protective coating and method of its application. Patent RF 2752488. 2021-07-28.
9. Eidelman B.L., Eidelman K.B., Gudkov D.V., Polisan A.A. Semiconductor photoelectric converter. Patent RF 2750366. 2021-06-28.
10. Shupenev A.E., Korshunov I.S., Fokin Yu.O., Onishchenko D.O. Method for modifying the surfaces of plates of a brazed plate heat exchanger. Patent RF 2754338. 2021-09-01.
11. Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Nguyen C.T., Muminova S.R. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part IV. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 242–251. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-242-251>.
12. Belotitskiy V.I., Kumzerov Yu.A., Sysoeva A.A. Method of obtaining gold nanoparticles. Patent RF 2754227. 2021-08-30.
13. Loginova A.N., Morozova Ya.V., Bakanev I.A. et al. Method of vacuum gas oil hydrofining. Patent RF 2753597. 2021-08-18.

14. Shanenkov I.I., Sivkov A.A., Tsimmerman A.I. et al. Method of obtaining nanocrystalline epsilon phase of iron oxide. Patent RF 2752330. 2021-07-06.
15. 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. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729>.
16. Laubscher Brian. Growing nanotubes from free atoms. Patent RF 2753099. 2021-08-11.
17. Gurovich B.A., Prihodko K.E., Kuleshova E.A., Kutuzov L.V. Nanoscale pulse generator. Patent RF 2753276. 2021-08-12.
18. Gao Chao, Peng Li. Independent free-standing graphene film and a method for its preparation. Patent RF 2753510. 2021-08-17.
19. Ivanov L.A., Xu L.D., Bokova E.S., Ishkov A.D., Muminova S.R. Nanotechnologies: are view of inventions and utility models. Part V. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(6): 331–338. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338>.
20. Sinev I.V., Timoshenko D.A., Simakov V.V., Zakharevich A.M. Method for transferring whisker nanocrystals to a substrate. Patent RF 2754127. 2021-08-27.
21. Marchenko E.S., Baigonakova G.A., Yasenchuk Yu.F. et al. Method of obtaining anticorrosive coating on articles made of monolithic titanium nickelide. Patent RF 2751704. 2021-07-15.
22. Okhlopov K.I., Shafirina P.A., Shorokhov A.S., Fedyanin A.A. Integral optical sensor for determining impurities in gas-air environments. Patent RF 2751449. 2021-07-14.
23. Ivanov L.A., Xu L.D., Pisarenko Zh.V., Wang Q., Prokopiev P.S. Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part II. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(2): 79–89. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89>.
24. Malchukov V.V., Metsker E.A., Andrianov M.A. Raw material mixture for the manufacture of large-sized billets of superhard composite material. Patent RF 2750448. 2021-06-28.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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, LXu@odu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-3263-5217>

Konstantin E. Razumeev – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Advisor to the Rector's Office of the A.N. Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Moscow, Russia, ker2210@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4308-3363>

Valentina M. Feoktistova – Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Educational Computer Center, Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Moscow region, Russia, vfeoktistova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8880-8941>

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

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 02.09.2021; approved after reviewing 24.09.2021; accepted for publication 27.09.2021.



Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть V¹⁾

Леонид Алексеевич Иванов^{1*}, Ли Да Сюй², Константин Эдуардович Разумеев³,
Валентина Михайловна Феоктистова⁴, Пётр Сергеевич Прокопьев⁵

¹ Российская инженерная академия, Москва, Россия

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

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

⁴ Российский государственный университет туризма и сервиса, Черкизово, Московская область, Россия

⁵ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

*Автор, ответственный за переписку: e-mail: L.a.ivanov@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Высокие технологии поражают воображение людей, демонстрируя все новые и новые достижения (материалы, способы, системы, технологии, устройства и др.), кардинально меняющие окружающий мир. Это, прежде всего, можно отнести к изобретениям ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. **Основная часть.** В статье в реферативной форме проводится обзор изобретений ученых, инженеров и специалистов из разных стран: России, США, Китая, Белоруссии, Италии. Результаты творческой деятельности ученых, инженеров и специалистов, в т.ч. и изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов позволяют при их внедрении добиться значительного эффекта в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, смежных отраслях экономики. Например, изобретение «Защитное покрытие и способ его нанесения» относится к области защиты металлов от коррозии. Для получения защитного покрытия на поверхность нелегированной стали наносят композицию, содержащую индустриальное масло с порошком модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита, и подвергают термохимической активации путем нагрева в течение 20 мин при температуре 100–200°C. В ходе образования покрытия формируются прочные донорно-акцепторные связи атомов железа с фосфором, находящимся в составе медьуглеродного нанокompозита. В ходе экспериментов было установлено, что нагревание образцов с покрытием из масла с добавлением модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита до 100–200°C повышает химическую активность нанокompозита, в результате чего на поверхности образуется защитное покрытие, снижающее скорость коррозии в зависимости от концентрации модифицированного металлуглеродного нанокompозита на 70–95%. Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий: способ получения наноструктурированной поверхности металлической заготовки лазерной обработкой, устройство получения нанодисперсных оксидов металлов, способ получения наноструктурного композиционного материала на основе алюминия, способ модификации поверхностей пластин паяного пластинчатого теплообменника и др. **Заключение.** Одна из актуальных задач экономики любой страны – повышение конкурентоспособности промышленности за счет ее технологического переоснащения. И в этом направлении главным объектом внимания со стороны государства и компаний становятся люди или предприятия, чья основная работа связана с изобретением и внедрением новых технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии в строительстве, наноразмерные материалы, нанокompозит, нанодисперсные оксиды металлов, наноструктурирование.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Разумеев К.Э., Феоктистова В.М., Прокопьев П.С. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 5. С. 311–318. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-311-318>

ВВЕДЕНИЕ

Высокие технологии поражают воображение людей, демонстрируя все новые и новые дости-

жения (материалы, способы, системы, технологии, устройства и др.), кардинально меняющие окружаю-

¹⁾ Продолжение. Часть I – Часть IV опубликованы в журнале «Нанотехнологии в строительстве». 2021. Т. 13. №№ 1–4.

© Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Разумеев К.Э., Феоктистова В.М., Прокопьев П.С., 2021

щий мир. Это, прежде всего, можно отнести к изобретениям ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Способ получения наноструктурированной поверхности металлической заготовки лазерной обработкой (RU 2752821 C1)

Наноразмерные структуры характеризуются особенностями, заключающимися в том, что рассматриваемые процессы и совершаемые действия происходят в нанометровом диапазоне пространственных размеров, где исходным материалом являются отдельные атомы, молекулы, молекулярные системы. Поэтому, в отличие от традиционной технологии, для нанотехнологии характерен «индивидуальный» подход, при котором внешнее управление достигает отдельных атомов и молекул, что позволяет создавать из них наноразмерные материалы с контролируемой структурой и принципиально новыми физико-химическими свойствами — оптическими, электрическими, магнитными, коррозионностойкими, в том числе обеспечивающими улучшение механических и триботехнических свойств поверхности. На основании вышеизложенного новый достигаемый технический результат предполагаемого изобретения обеспечивается следующими по сравнению с прототипом техническими преимуществами [1]:

1. Достигается повышение качества соединения разнородных (разных по химическому составу) металлических заготовок при диффузионной сварке — повышение не менее чем на 14% предела прочности сварного соединения за счет предварительного наноструктурирования поверхности металлической заготовки.

2. Обеспечивается при наноструктурировании изменение исходных физико-химических свойств поверхности металлической заготовки — адгезионных, оптических, электрических, магнитных, коррозионностойких, в том числе обеспечивающих улучшение механических и триботехнических свойств поверхности, за счет формирования микронных и субмикронных структур одиночным сканирующим сфокусированным лазерным лучом. Полученные поверхностные структуры имеют вид микроборозд, микропор, искривленных каналов, микроконусов с поперечными размерами от 1 до 5 мкм, а также шарообразных структур диаметром около 500 нм на цилиндрических подставках-ножках (микроджетах) шириной около 300 нм.

Пеногель (RU 2753652 C1)

Изобретение относится к области получения вспененного геля кремнезема, структурированного

нанодобавками, который может быть использован в качестве низкоплотной забойки взрывных скважин или шпуров при дроблении горного массива при добыче твердых полезных ископаемых [2].

Пеногель, включающий водные растворы жидкого стекла, коагулятора и пенообразователя, смешанные сжатым воздухом, и используемый в конструкции скважинного (шпурового) заряда в качестве забойки, инертного промежутка и придонного компенсатора, отличающийся тем, что с целью повышения устойчивости он дополнительно содержит нанодобавку кремнезоль — «наносил-30».

Технический результат достигается тем, что в качестве исходных веществ используется наиболее доступный и дешевый компонент силикат натрия 10–15% масс; в качестве нанодобавки используется «наносил-30» 0,05–0,15% масс, усиливающий золь-гель процесс; ортофосфорная кислота 5–8% масс; хлорид железа 0,1–0,3% масс; пенообразователь АБСК 3–5% масс и вода 71,55–81,85% масс. Получение пеногеля осуществляется на месте его применения в качестве забойки скважинного заряда на открытых горных работах или в шахтах при механическом смешивании сжатым воздухом водных растворов указанных веществ. В зависимости от количества сжатого воздуха кратность пеногеля варьирует от 5 до 15 единиц. Известно, что пеногель средней и высокой кратности для забойки взрывных скважин недостаточно эффективен, то есть не обеспечивает запирание продуктов взрыва.

Металлический сплав с высокими эксплуатационными характеристиками для аддитивного производства деталей машин (RU 2750946 C1)

Детали двигателей внутреннего сгорания, детали газовой турбины (например, лопатки, сопла, кожухи, камеры сгорания) должны быть изготовлены из металлических сплавов, выполненных с возможностью выдерживать высокотемпературные рабочие условия. Это особенно относится к деталям, которые расположены рядом с камерами сгорания газовой турбины, такими как сопла турбины. Температура рабочего газа, образованного продуктами сгорания в соплах первой ступени, может составлять 1100°C или выше, в то время как в самой нижней по потоку ступени турбины температура падает до приблизительно 650–700°C.

Для производства деталей вращения, таких как лопасти первой ступени турбины, используются специальные высокотемпературные сплавы на основе никеля. Эти сплавы являются дорогостоящими, но обязательными с точки зрения необходимости выдерживать совместное стрессовое воздействие высокой температуры и высоких динамических напряжений, образованных в роторной части турбомшины.

Изобретение относится к металлургии, а именно к металлическому сплаву с высокими эксплуатационными характеристиками, и может быть использовано для аддитивного производства деталей машин, в частности сопла газовой турбины [3]. Металлический сплав для изготовления сопла газовой турбины методом аддитивного производства, состоящий из, мас. %: О 0,01–0,05, N 0,005–0,025, S менее 0,003, С 0,005–0,07, Mn 0,6–0,8, Si 0,8–1,0, Р менее 0,04, Cr 27–33, Ni 11–12, W 5–9, Fe 0,4–0,7, Та менее 0,001, В менее 0,003, Cu менее 0,001, Zr менее 0,003, Со – остальное. Сплав характеризуется высокими эксплуатационными характеристиками, а именно высокой устойчивостью к высокотемпературному окислению и коррозии, высокой стойкостью к термической усталости, а также удовлетворительной свариваемостью.

Устройство получения нанодисперсных оксидов металлов (RU 2752756 C1)

Изобретение относится к химической промышленности и металлургии [4]. Устройство для получения нанодисперсных оксидов металлов (рис. 1) содержит линию 1 приготовления прекурсоров и линию 2 гидротермального синтеза, снабженные реакторами, центрифугами и емкостями. Линия 1 включает первый реактор, 3 – для приготовления раствора осадителя, соединенный со вторым реактором 6 – для приготовления суспензии прекурсора. К реактору 3 подключены емкость 4 с осадителем и емкость 5 с дистиллированной водой. К реактору 6 подключен мерник 7 с раствором нитратной соли. Реактор 6 соединен с декантатором 8, сообщенным, в свою очередь, с емкостью для декантата 9 и с первой центрифугой 10. Линия 2 снабжена реактором 11 для гидротермального синтеза, соединенным посредством подъемника 12 с первой центрифугой 10. К входу реактора 11 подключена емкость 5 с дистиллированной водой, соединенная с декантатором 8, а к выходу реактора 11 подключена вторая центрифуга 10, выход которой соединен с сушилкой 13. Реакторы 3 и 6 выполнены в виде закрытых емкостей, с наружных сторон которых смонтированы теплообменные рубашки, а внутри – мешалки якорного типа. Реактор 11 выполнен в виде автоклава, установлен на перемешивающем устройстве и подключен к контроллеру с возможностью задания и поддержания заданного температурного режима. Устройство позволяет получать различные нанодисперсные оксиды металлов без его переоборудования, поддерживать оптимальные технологические режимы и надежно контролировать процесс.

Технический результат достигается за счет того, что к первому реактору подключены емкости с осадителем и с дистиллированной водой, ко второму реактору подключен мерник с раствором нитратной соли, при

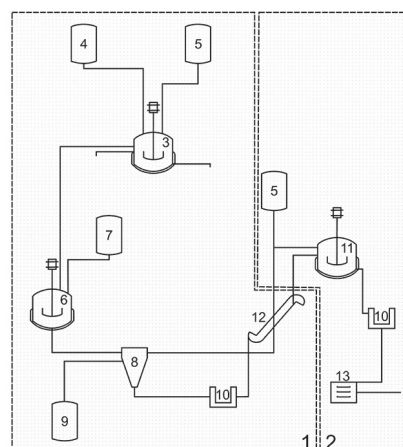


Рис. 1. Технологическая схема получения нанодисперсных оксидов металлов методом гидротермального синтеза: 1 – линия приготовления прекурсоров, 2 – линия гидротермального синтеза, 3 – первый реактор, 4 – емкость с осадителем, 5 – емкости с дистиллированной водой, 6 – второй реактор, 7 – мерник, 8 – декантатор, 9 – емкость для декантата, 10 – центрифуги, 11 – третий реактор, 12 – подъемник, 13 – сушилка

этом данный реактор соединен с декантатором, сообщенным, в свою очередь, с емкостью для декантата и с первой центрифугой, причем устройство дополнительно содержит линию гидротермального синтеза, снабженную третьим реактором – для гидротермального синтеза, соединенным посредством подъемника с выходом указанной центрифуги, к входу третьего реактора подключена емкость с дистиллированной водой, соединенная с декантатором, а к выходу третьего реактора подключена вторая центрифуга, выход которой соединен с сушилкой. В частности, первый и второй реакторы выполнены в виде закрытых емкостей. В частности, с наружной стороны первого и второго реактора смонтированы теплообменные рубашки. В частности, в первом и втором реакторах смонтированы мешалки якорного типа. В частности, третий реактор выполнен в виде автоклава. В частности, третий реактор установлен на перемешивающем устройстве. В частности, третий реактор подключен к контроллеру с возможностью задания и поддержания заданного температурного режима.

Способ сварки деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе с использованием лазерного излучения (RU 2752822 C1)

В энергетических установках часто используются двухслойные сварные трубы из жаропрочного никелевого сплава и жаропрочной бронзы, обладающей высокой теплопроводностью, причем соединяют-

ся они между собой диффузионной сваркой. Хотя осуществление диффузионной сварки в вакууме или в инертной газовой среде расширяет технологические возможности данного способа сварки, в настоящее время проблема повышения качества соединения и расширение допустимого температурного режима сварки по-прежнему остается актуальной.

Улучшение механических характеристик сварных соединений при диффузионной сварке возможно за счет формирования на свариваемых поверхностях разных упорядоченных структур, в том числе микронного и субмикронного масштаба. Для их создания могут применяться такие технологические приемы, как лазерная модификация свариваемых поверхностей заготовок. Перспективным методом формирования наноструктуры на металлической поверхности может стать прямое лазерное наноструктурирование наносекундными импульсами. Ультрафиолетовая область спектра лазерного излучения более предпочтительна вследствие более высокого поглощения излучения металлами по сравнению с видимой и инфракрасной областями спектра. Эффективное воздействие лазерного излучения на тонкий (~1 мкм) приповерхностный слой металла позволяет получать разные микро- и наноструктуры с заданными параметрами.

Изобретение относится к способу сварки деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе и может найти применение в разных секторах машиностроения и металлургии [5]. Технический результат изобретения состоит в повышении качества соединения свариваемых деталей. Способ включает обработку лазерным излучением наносекундного импульсного лазера со скоростью охлаждения наноструктурируемой поверхности, обеспечивающей формирование на ней рельефных структур с размером менее 100 нм. Коэффициент перекрытия пятен лазерного луча определяют как отношение площади, обработанной двумя лазерными импульсами, к площади одного пятна от лазерного луча. После наноструктурирования поверхностей деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе осуществляют их диффузионную сварку в герметичной камере воздействием давления и нагрева свариваемых деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе в вакууме или в среде инертного газа.

Способ получения наноструктурного композиционного материала на основе алюминия (RU 2751401 C2)

Изобретение относится к способу получения наноструктурного композиционного материала на основе алюминия, модифицированного фуллереном C₆₀, с улучшенными физико-механическими свойствами, для применения в области машиностроения и авиакосмической отрасли [6].

Наноструктурные композиционные материалы на основе алюминия, модифицированные фуллереном C₆₀, демонстрируют повышенный уровень механических свойств. Для такого рода наноструктурных композитов известно, что при уменьшении среднего размера кристаллитов матрицы прочностные свойства возрастают, при этом на начальных стадиях происходит ламинарное снижение пластичности, пропорциональное уменьшению среднего размера кристаллитов, а затем, при достижении критического значения среднего размера кристаллитов, происходит резкое снижение пластичности почти до нулевых значений. Поэтому управление свойствами объемных наноструктурных композиционных материалов лишь за счет уменьшения структурных элементов материала сильно ограничено.

Задача, на решение которой направлено данное изобретение, нацелена на создание наноструктурного композиционного материала с дуплексной структурой на основе алюминия, модифицированного фуллереном C₆₀, с улучшенными физико-механическими свойствами для использования в машиностроении и авиакосмической отрасли. Поставленная задача решается благодаря точному контролю химического и фазового состава порошков, обеспечению среднего размера кристаллитов алюминия ≤ 70 нм в мелкокристаллическом порошке и в диапазоне 70–150 нм в крупнокристаллическом, за счет строго соблюдения соотношения 1:1 порошков двух типов в конечном материале, а также за счет их смешивания на уровне отдельных кристаллитов. В качестве модифицирующей углеродной фазы используется порошок фуллерена C₆₀ в кристаллической форме в количестве 0,1–5–0,5 вес. %.

Техническим результатом является увеличение пластичности наноструктурного композиционного материала с дуплексной структурой на основе алюминия, модифицированного фуллереном C₆₀, при незначительных потерях в прочностных характеристиках. Способ получения наноструктурного композиционного материала с дуплексной структурой на основе алюминия включает в себя несколько стадий подготовки компонентов: 1 – подготовка крупнокристаллических порошков; 2 – подготовка мелкокристаллических порошков; 3 – смешивание крупно и мелкокристаллических порошков; 4 – консолидация полученной порошковой смеси методом интенсивной пластической деформации – прямой горячей экструзии.

Способ получения композиционного материала с ориентированными углеродными нанотрубками (RU 2751882 C1)

Изобретение относится к области производства композиционных материалов, состоящих из армирующего материала, полимерной матрицы и напол-

нителя, в роли которого выступают углеродные нанотрубки, и может быть использовано при создании композиционных материалов с повышенной прочностью за счет использования однородного постоянного электрического поля, разрушающего агломераты углеродных нанотрубок и ориентирующего нанотрубки [7]. Способ получения композиционного материала с ориентированными углеродными нанотрубками, заключающийся в создании полимерного композиционного материала с ориентированными нанотрубками с помощью электрического поля, где армирующий материал пропускается через пропиточную ванну, содержащую полимерное связующее и углеродные нанотрубки в направлении вектора напряженности однородного постоянного электрического поля, возникающего при подаче постоянного электрического тока, разрушающего агломераты углеродных нанотрубок и ориентирующего нанотрубки вдоль направления движения армирующего материала.

Технический результат достигается тем, что в способе получения композиционного материала с ориентированными углеродными нанотрубками, заключающемся в создании полимерного композиционного материала с ориентированными нанотрубками с помощью электрического поля, армирующий материал пропускается через пропиточную ванну, содержащую полимерное связующее и углеродные нанотрубки в направлении вектора напряженности однородного постоянного электрического поля, возникающего при подаче постоянного электрического тока, разрушающего агломераты углеродных нанотрубок и ориентирующего нанотрубки вдоль направления движения армирующего материала.

Изобретение поясняется рис. 2 и рис. 3.

Способ получения композиционного материала с ориентированными углеродными нанотрубками заключается в создании полимерного композиционного

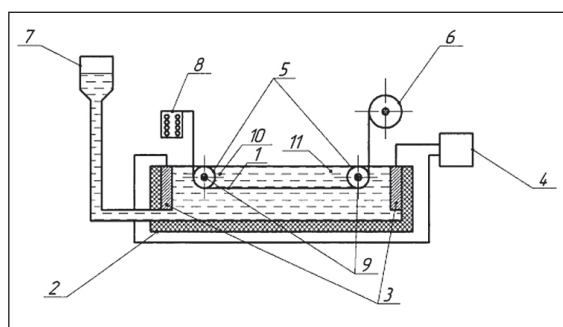


Рис. 2. Принципиальная схема установки: 1 — армирующий материал, 2 — пропиточная ванна, 3 — обкладки, 4 — ориентирующий блок, 5 — ролики, 6 — оправка, 7 — емкость со связующим, 8 — шпулярник, 9 — оси, 10 — углеродные нанотрубки, 11 — полимерное связующее

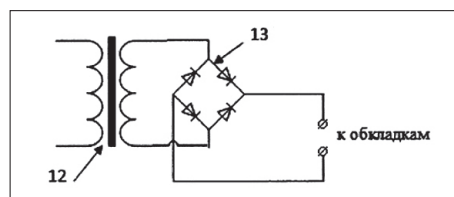


Рис. 3. Принципиальная схема ориентирующего блока: 12 — трансформатор, 13 — диодный мост

материала с ориентированными нанотрубками с помощью электрического поля, при этом армирующий материал 1 пропускается через пропиточную ванну 2, содержащую полимерное связующее 11 и углеродные нанотрубки 10 в направлении вектора напряженности однородного постоянного электрического поля, возникающего при подаче постоянного электрического тока, разрушающего агломераты углеродных нанотрубок 10 и ориентирующего нанотрубки вдоль направления движения армирующего материала 1.

Защитное покрытие и способ его нанесения (RU 2752488 C1)

Изобретение относится к области защиты металлов от коррозии [8]. Защитное покрытие поверхности нелегированной стали содержит 5–75 мас.% порошка модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита, распределенного в индустриальном масле И-20. Для получения защитного покрытия на поверхность нелегированной стали наносят композицию, содержащую индустриальное масло И-20 с 5–75 мас.% порошка модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита, и подвергают термохимической активации путем нагрева в течение 20 мин при температуре 100–200°C. В ходе образования покрытия формируются прочные донорно-акцепторные связи атомов железа с фосфором, находящимся в составе медьуглеродного нанокompозита, которые, согласно спектрам рентгеноэлектронной спектроскопии, устойчивы при комнатной температуре и при нагреве до 500°C и выше. Изобретение обеспечивает высокую степень защиты поверхности нелегированной стали от коррозии за счет получения прочных химических связей между атомами противокоррозионного покрытия и его прочного химического сцепления с поверхностью стали.

Задачей заявляемого изобретения является максимально упростить по числу компонентов состав получаемого покрытия и использовать высокую химическую и адсорбционную активность модифицированных фосфором металлуглеродных нанокompозитов. Для достижения поставленной задачи нами был использован модифицированный фосфором металлуглеродный нанокompозит, полученный

методом механохимического взаимодействия медь-углеродных наноструктур с полифосфатом аммония. Медьуглеродный нанокompозит представляет собой наноразмерный медьсодержащий кластер, стабилизированный углеродными волокнами, состоящими из фрагментов полиацетилена и карбина с неспаренными электронами на стыках фрагментов. Благодаря такому строению исходный нанокompозит легко вступает в реакцию с полифосфатом аммония, в результате которой фосфор восстанавливается и входит в углеродную оболочку медьуглеродного нанокompозита между фрагментами углеродных волокон. При этом фосфор может быть связывающим звеном (линкером) с веществами поверхности металла.

Технический результат достигается тем, что порошок данного модифицированного медьуглеродного нанокompозита смешивали с базовым минеральным маслом И-20, которое в исходном состоянии (в чистом виде) не обладает заметными защитными свойствами.

При смешивании масло И-20 с порошком модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита были получены масляные композиции, содержащие от 5 до 75% нанокompозита. Предварительные опыты показали, что введение модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита в минеральное масло хотя и повышает эффективность защитного покрытия, однако способствует снижению скорости коррозии стали на 10–30%. В ходе экспериментов было установлено, что нагревание образцов с покрытием из масла с добавлением модифицированного фосфором медьуглеродного нанокompозита до 100–200°C повышает химическую активность нанокompозита, в результате чего на поверхности образуется защитное покрытие, снижающее скорость коррозии в зависимости от концентрации модифицированного металлуглеродного нанокompозита на 70–95%.

Полупроводниковый фотоэлектрический преобразователь (RU 2750366 C1)

Солнечная фотоэнергетика является одной из наиболее быстрорастущих отраслей мировой экономики, среднегодовые темпы роста которой оцениваются в 20%. И поскольку стоимость генерируемого фотоэлектрическими модулями электричества пока еще остается достаточно высокой (установленная мощность ~\$1/Вт, стоимость электроэнергии 0,07 \$/Вт), способы ее удешевления за счет увеличения эффективности преобразования солнечного излучения в электричество и увеличения произведенной электроэнергии являются весьма актуальными задачами.

Изобретение относится к области прямого преобразования света в электрическую энергию [9]. Солнечный элемент представляет собой многослойную

структуру для преобразования света и слой с нанесенными наночастицами на или внутри, или под слоем просветляющего покрытия, обладающими свойствами фотолюминесценции под действием УФ излучения. Поскольку фотолюминесценция происходит в области видимого света с меньшей энергией квантов, то поток тепла внутрь солнечного элемента сокращается. Для сохранения или улучшения эффективности преобразования света наночастицы должны обладать квантовой эффективностью фотолюминесценции $K \geq 1$, где K определяется по предложенной расчетной формуле, связывающей край поглощения УФ диапазона наночастицами; длину волны спектра фотолюминесценции на полуширине пика фотолюминесценции и спектральный отклик полупроводникового фотоэлектрического преобразователя на длине волны света λ . Конструкция солнечного элемента согласно изобретению обеспечивает увеличение выработки электроэнергии солнечным элементом за счет снижения рабочей температуры элемента.

Техническим результатом изобретения является увеличение эффективности преобразования энергии светового излучения в электроэнергию в рабочих условиях, когда температура солнечного элемента повышается и эффективность преобразования падает. Технический результат достигается за счет того, что в полупроводниковом фотоэлектрическом преобразователе, содержащем барьерный слой для разделения носителей заряда в виде р–n перехода или гетероперехода, просветляющее покрытие, слой наночастиц и металлизированные контакты, где наночастицы, нанесенные на или внутри, или под слоем просветляющего покрытия, обладают возможностью фотолюминесценции под воздействием света УФ диапазона с длиной волны в диапазоне оптимальной чувствительности фотоэлектрического преобразователя и квантовой эффективностью фотолюминесценции K не менее 1, где K определяется по предложенной расчетной формуле.

Способ модификации поверхностей пластин паяного пластинчатого теплообменника (RU 2754338 C1)

Изобретение относится к нанотехнологии и наноструктурам, в частности, к способу получения модифицированного слоя, содержащего наноразмерные алмазные фазы, и может быть использовано для машиностроения и энергетики [10]. Задача изобретения – оптимизация параметров техпроцесса улучшенной модификации выборочных областей поверхностей пластин ППТО за счет применения трафаретов в вакуумной камере перед дальнейшим соединением пластин друг с другом пайкой или спеканием.

Технический результат достигается за счет упрочнения поверхности и снижения гидродинамических

потерь при содержании алмазных фаз в модифицированном слое от 5 до 15%, что приводит к увеличению срока службы, снижению нагрузки на гидравлическую систему и повышению эффективности теплообмена ППТО. Совокупность физических особенностей взаимодействия лазерного излучения с графитом позволяет сформировать модифицированный слой, содержащий углеродные и алмазные фазы. Наличие алмазных фаз в составе модифицированного слоя обуславливает его высокую износостойкость и снижение гидродинамического сопротивления.

Способ модификации поверхностей пластин паяного пластинчатого теплообменника включает размещение в вакуумной камере пластины и углеродсодержащей мишени, откачку камеры до требуемого уровня вакуума, лазерную обработку мишени с последующей конденсацией на поверхность пластины модифицированного слоя, содержащего алмазные фазы. При этом нанесение модифицированного слоя на поверхность теплообменных пластин осуществляют путем испарения в вакууме 10–5...10–7 торр углеродсодержащей мишени импульсным лазерным излучением, для обработки мишени используют лазерное излучение с длиной волны от 190 до 310 нм, длительностью импульсов от 1 до 100 нс с частотой повторения от 10 до 100 Гц и плотностью энергии на поверхности мишени от 1 до 10 Дж/см². Содержание алмазных фаз в модифицированном слое составляет от 5 до 15%, а толщина модифицированного слоя составляет от 30 до 300 нм.

Осуществление изобретения представлено на рис. 4. В вакуумной камере 1 установлена пластина ППТО 2. Лазерный луч 7 попадает в камеру через вакуумное окно 6 и фокусируется на поверхности мишени 9. Материал мишени, испаренный в результате лазерного воздействия, переносится в виде расширяющегося плазменного облака 8 на поверхность

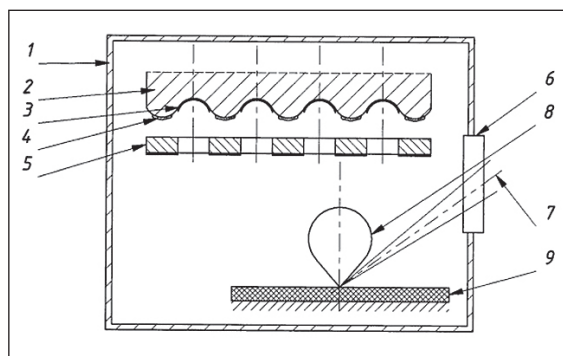


Рис. 4. Схемы нанесения модифицированного слоя: 1 – вакуумная камера, 2 – пластина ППТО, 3 – модифицированный слой (МС), 4 – паяльная паста, 5 – трафарет, 6 – вакуумное окно, 7 – лазерное излучение, 8 – плазменное облако, 9 – мишень

пластины ППТО и конденсирует в виде модифицированного слоя 3. Участки, предназначенные для нанесения паяльной пасты 4, защищаются от нанесения модифицированного слоя с помощью трафарета 5. Над обрабатываемой поверхностью располагают трафарет, задачей которого служит защита участков пластины от нанесения МС на участки, предназначенные для последующего образования спая. Таким образом, нанесению МС будут подвергаться участки поверхности пластины ППТО, контактирующие в процессе эксплуатации с жидкостью.

Также представляют интерес для специалистов следующие изобретения в области нанотехнологий:

- Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы SiO₂ и многослойные углеродные нанотрубки [11].
- Способ получения наночастиц золота [12].
- Способ гидрооблагораживания вакуумного газойля [13].
- Способ получения нанокристаллической эпсилон-фазы оксида железа [14].
- Способ получения упрочненного нанокompозита с дополнительными свойствами [15].
- Выращивание нанотрубок из свободных атомов [16].
- Наноразмерный генератор импульсов [17].
- Независимая свободнорасполагающаяся графеновая пленка и способ ее получения [18].
- Проектирование строительных наноматериалов при помощи моделирования молекулярной динамики [19].
- Способ переноса нитевидных нанокристаллов на подложку [20].
- Способ получения антикоррозионного покрытия на изделиях из монолитного никелида титана [21].
- Интегральный оптический сенсор для определения примесей в газовой среде [22].
- Развитие нанотехнологий в мире и стандарты нанотехнологий в Турции [23].
- Сырьевая смесь для изготовления крупноразмерной заготовки сверхтвердого композитного материала [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Окончание следует

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ёлкин В.Н., Малинский Т.В., Миколуцкий С.И. и др. Способ получения наноструктурированной поверхности металлической заготовки лазерной обработкой // Патент 2752821 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 22.
2. Катанов И.Б., Катанова Н.А. Пенюгель // Патент 2753652 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 23.
3. Диматтео Антонелла, Джованнетти Якопо. Металлический сплав с высокими эксплуатационными характеристиками для аддитивного производства деталей машин // Патент 2750946 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.
4. Шариков Ф.Ю., Иванов В.К., Шариков Ю.В. Устройство получения нанодисперсных оксидов металлов // Патент 2752756 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 22.
5. Малинский Т.В., Миколуцкий С.И., Роголин В.Е. и др. Способ сварки деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе с использованием лазерного излучения // Патент 2752822 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 22.
6. Евдокимов И.А., Грязнова М.И., Баграмов Р.Х. и др. Способ получения наноструктурного композиционного материала на основе алюминия // Патент 2751401 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 20.
7. Красновский А.Н., Кишук П.С. Способ получения композиционного материала с ориентированными углеродными нанотрубками // Патент 2751882 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 20.
8. Решетников С.М., Шабанова И.Н., Кодолов В.И. и др. Способ получения поликристаллических алмазных пленок // Патент 2752488 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 22.
9. Эйфельман Б.Л., Эйфельман К.Б., Гудков Д.В., Полисан А.А. Полупроводниковый фотоэлектрический преобразователь // Патент 2750366 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.
10. Шупенев А.Е., Коршунов И.С., Фокин Ю.О., Онищенко Д.О. Способ модификации поверхностей пластин паяного пластинчатого теплообменника // Патент 2754338 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 25.
11. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Нгуен К.Т., Муминова С.Р. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть IV // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, № 4. С. 242–251. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-242-251>.
12. Белотицкий В.И., Кумзеров Ю.А., Сысоева А.А. Способ получения наночастиц золота // Патент 2754227 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 25.
13. Логинова А.Н., Морозова Я.В., Баканев И.А. и др. Способ гидрооблагораживания вакуумного газойля // Патент 2753597 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 23.
14. Шаненков И.И., Сивков А.А., Циммерман А.И. и др. Способ получения нанокристаллической эpsilon-фазы оксида железа // Патент 2752330 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 21.
15. 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. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729>.
16. Лаубшер Брайан. Выращивание нанотрубок из свободных атомов // Патент 2753099 РФ МПК С2. 2021. Бюл. № 23.
17. Гурович Б.А., Приходько К.Е., Кулешова Е.А., Кутузов Л.В. Наноразмерный генератор импульсов // Патент 2753276 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 23.
18. Гао Чао, Пэн Ли. Независимая свободнорасполагающаяся графеновая пленка и способ ее получения // Патент 2753510 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 18.
19. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Бокова Е.С., Ишков А.Д., Муминова С.Р. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяющие получить принципиально новые технические результаты. Часть V // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 6. С. 331–338. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-331-338>.
20. Синёв И.В., Тимошенко Д.А., Симакон В.В., Захаревич А.М. Способ переноса нитевидных нанокристаллов на подложку // Патент 2754127 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 21.
21. Марченко Е.С., Байгонова Г.А., Ясенчук Ю.Ф. и др. Способ получения антикоррозионного покрытия на изделиях из монолитного никелида титана // Патент 2751704 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 20.
22. Охлонков К.И., Шафирин П.А., Шорохов А.С., Федянин А.А. Интегральный оптический сенсор для определения примесей в газовой среде // Патент 2751449 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 20.
23. Иванов Л.А., Сюй Л.Д., Писаренко Ж.В., Ванг Ц., Прокопьев П.С. Изобретения ученых, инженеров и специалистов из разных стран в области нанотехнологий. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, № 2. С. 79–89. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-2-79-89>.
24. Мальчуков В.В., Мецкер Е.А., Андрианов М.А. Сырьевая смесь для изготовления крупноразмерной заготовки сверхтвердого композитного материала // Патент 2750448 РФ МПК С1. 2021. Бюл. № 19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Сюй Ли Да – д-р философии, профессор, Университет Олд Доминион, Отдел информационных технологий; Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), Норфолк, Вирджиния, США, LXu@odu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-3263-5217>

Разумеев Константин Эдуардович – д-р техн. наук, проф., советник при ректорате Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия, ker2210@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4308-3363>

Феокистова Валентина Михайловна – канд. экон. наук, доцент учебного компьютерного центра Российского государственного университета туризма и сервиса, Черкизово, Московская область, Россия, vfeokistova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8880-8941>

Прокопьев Пётр Сергеевич – Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, аспирант факультета международных экономических отношений, Москва, Россия, prokopiev2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6305-4135>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.09.2021; одобрена после рецензирования 24.09.2021; принята к публикации 27.09.2021.

Original article

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-319-327>



Obtaining the retainer for waterproofing road bitumens

Evgeniy V. Boev* , Aigul A. Islamutdinova , Elmira K. Aminova

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

* Corresponding author: e-mail: k.elmira.k@yandex.ru

ABSTRACT: Introduction. Bitumen is a mixture of hydrocarbons and hetero-organic compounds. It is one of the most popular building materials today. Due to the growing consumption of bitumen for various purposes, the requirements for its quality characteristics are increasing, which prompts a comprehensive study of the physical and mechanical properties and methods of its modification. Currently, various additives are used, from inorganic materials to organic binders, including waste chemical, petrochemical and household industries. These additives create a nanodispersed structure inside the bitumen, which provides a change in the physical and mechanical properties in the required direction. **Methods and materials.** The work proposes a method for obtaining a fixer for waterproofing road bitumen based on nitrogen-containing organic compounds. The goal of research is to study the effect of the additive-derivative of triethylenediaminedicyan, which leads to the formation of a nanodispersed structure of bitumen of the “sol-gel” type, the quality indicators of which will meet the requirements of the new standard GOST 33133-2014 “Viscous road oil bitumen”. The object of the study is the bitumen production unit of workshop No. 14 of Gazprom neftekhimSalavat LLC, designed to produce commercial bitumen: oil road grades CB 90/130 in accordance with GOST 22245-90, used in road, civil and industrial construction as a binder and waterproofing material. **Results and discussion.** In the course of the study, the nature of the interaction and the effect of the modifier on the properties of bitumen, which ensure the production of nanostructured bitumen of the “sol-gel” type, were revealed. As a result of the study, a comparative assessment of the effect of the fixer on the properties of waterproofing bitumen revealed a significant improvement in physical and mechanical properties in comparison with bitumen grade CB 90/130. **Conclusion.** The obtained compound based on triethylenediaminedicyan can be used as a fixing additive to road bitumen.

KEYWORDS: bitumen, tar, asphaltenes, oils, dicyandiammonium compounds, nanodispersed systems, fixing additive, physico-chemical properties.

FOR CITATION: Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Obtaining the retainer for waterproofing road bitumens. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5): 319–327. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-319-327>

INTRODUCTION

The use of high quality petroleum bitumen ensures the durability of asphalt concrete pavements in conditions of heavy traffic. The quality of bitumen as oil dispersed systems is directly related to their structure and properties, which are determined by the quantitative ratio of oils, resins and asphaltenes [1–3]. These three main structural elements of bituminous binders interact with each other and form one or another kind of microheterogeneous nanodispersed structure [4–6].

The physical and mechanical properties of bitumen depend on the production technology and the nature of the feedstock. The raw material source for obtaining bitumen for various purposes is the residual products of oil refining. As practice shows, these residues are

subjected to all kinds of modification methods in order to give them high quality characteristics. In connection with the increase in the pace of construction in our country, the consumption of bitumen continues to grow, so the production and improvement of their quality characteristics is relevant [7, 8].

Modification of bitumen contributes to the expansion of the temperature range of operability, increased heat and frost resistance, ensuring the reliability and durability of structures.

Obtaining high-melting bitumen by oxidizing raw materials does not allow achieving results in terms of quality that meet the requirements of GOST. Therefore, compounding is the most optimal method. To create high-melting compositions, it is necessary to select certain additives that act as astringents. Therefore, the first stage

of the work was the study of the process of obtaining a binder additive [9–11].

METHODS AND MATERIALS

A method of obtaining a waterproofing composition by mixing bitumen, polymer additives and plasticizers, characterized in that the process takes place in mild conditions, the resulting bitumen is resistant at temperatures from minus 20 to plus 80°C. Known modifications with isoprene copolymers, oligomerizates. With the addition of binders, no more than 5–7% of 100% by weight of the waterproofing composition.

To increase adhesion, mastic is used, it additionally contains waste from the production of butadiene-styrene latex, with the following ratio of components, % wt.: bitumen 20–25%, asbestos 20–25%, waste from the production of butadiene-styrene latex 3–15%, sulfur sludge 2.0–5.5%, water – the rest. Various copolymers are used for modification that increase plasticity, reducing water absorption in the ratio of % wt: oil hydrocarbons 55–63%, resins 12–15%, asphaltenes 25–30%, and as an additive – atactic polypropylene or a concentrate of rubber isoprenes with bitumen in ratio 1:1 at the following ratio, % wt.: oxidized residue of atmospheric distillation of oil 85–95%, polymer additive 5–15%.

Bituminous-latex emulsion composition containing bitumen, an emulsifier based on sulfonal and synthetic fatty acids, which increases weather resistance, at the following ratio, wt%: bitumen 100%, vat residue of synthetic fatty acids 1–2%, emulsifier 2.8–5.1%, synthetic latex 65–70%, 45–48% solution of lignosulfonates 2–4%, hexamethyldisilazane 2–4%, water 55–65%.

In the work of obtaining a composition for waterproofing, the filler is polyethylene, a plasticizer, extracts (waste after selective purification of distillate oils, asbestos and polypropylene glycol. This composition is distinguished by high atmospheric resistance, the following ratio of components, wt%: polyethylene 1.0–2.2%, asbestos 17–30%, extract 3.0–5.5%, propylene glycol 0.2–1.5%, bitumen – the rest.

Bituminous composition for roofing and waterproofing materials, containing bitumen and a mineral filler, characterized in that in order to increase the biostability of the composition, as a filler it contains a cake of copper smelting production, with the following ratio of components, wt%: bitumen 75–90%, cake 10–25%.

It is known that styrene-butadiene rubbers are part of the bitumen as a binder. Their use makes it possible to improve the technical characteristics of the product, fillers for bitumen – asbestos, white spirit, rubber (styrene butadiene), oil (automobile) [12–14].

In order to increase the weather resistance, add to bitumen: polyethylene, oil (automobile), oligovinylethanolamine, talcomagnesite.

A method of obtaining waterproofing mastic. Mastic contains 39–99% wt oxidized bitumen and 1–8% oxidized polyethylene. To regulate the viscosity, up to 40% of a saturating substance is introduced into its composition – not oxidized bitumen. Mastics containing 71–89% of oxidized bitumen, 1–4% of polyethylene and 10–25% of a saturating substance have optimal properties; 50–60% of mineral chips are used as a filler. The mastic is prepared by adding oxidized bitumen to oxidized polyethylene. Polyethylene, molecular weight – 2000–6000, softening point 130–1500°C, Brookfield viscosity at 149°C 5000–30000 cP.

A waterproofing composition comprising bitumen, a thermoplastic copolymer of ethylene, propylene, ethylidene, characterized in that, in order to increase biostability, it contains a filler such as ash, asbestos, fiberglass, polymer fibers, soot of silicate or carbonate mineral powders, with the following composition ratio, wt%: bitumen 20%, ternary copolymer and polyethylene 20%, filler 60% (polyethylene content is equal to 0.3% by weight of the ternary copolymer weight).

The method of obtaining a bitumen composition for priming steel pipes, which allows to increase the stability of the material, is used as a binder CPL (50:50). It is prepared by mixing at 200°C for 2 hours a mixture with the following content of components, wt%: bitumen 45%, a mixture of CPL 42%, 2-methyl-1-butene and 3-methyl-1-butene 42%, high density polyethylene 5%, isobutyl rubber 5%, epoxy 5%. The flow coating has a high tear strength.

Waterproofing material made of polymer bitumen, characterized in that the cover layer consists of a mixture of bitumen (penetration 70–420*0.1 mm, softening temperature 20–50°C, 10–30% homo- and copolymers based on atactic polypropylene, 5–20% isotactic polypropylene (melt index 20–40). The outer surface of the cover layer contains polypropylene crystals in the form of spherulites, which improve adhesion and prevent oil components from sweating out of bitumen.

Bitumen at a temperature of 160–200°C is mixed with polymers, the mixture is homogenized under high gravity, at 180–200°C it is cast in the form of a film and cooled at a rate of 120 K/min.

Waterproofing composition, characterized in that in order to increase the adhesion to concrete and metal, as well as to increase the temperature range, add to bitumen: polypropylene and plasticizers filtration waste. The sludge contains 30–50% dialkyl phthalates, 2–7% sodium salts of monoesters of phthalic acid, the rest is activated carbon. The proposed composition has a softening temperature by ring-and-ball method 92–100°C, heat resistance 85–95°C, adhesion to concrete and metal, respectively, 0.61–0.86 and 0.7–0.9 MPa, water absorption 0.8–0.83%.

Currently, many researchers make a great contribution to the selection of effective fillers, binders, etc., in order to impart crack resistance, strength, adhesion and other

performance characteristics to bitumen in various climatic conditions [15]. When studying reagents that meet the requirements of GOST, we were guided by the operating conditions of the material and the design of the reaction unit, as well as climatic influences (Table 1).

These properties were the main criteria when choosing polymer additives for bitumen.

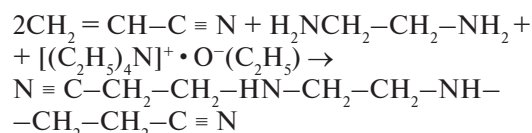
By the nature of the effect on bitumen, polyethylene and EPC belong to additives that change the structure of the product. Table 2 shows the composition of mastics based on polymer additives to bitumen.

Currently, there are GOSTs for bitumen, which are used as insulating bitumen. The characteristics of insulating bitumen are given in table 4 [16–17].

Synthesis of dicyandiamine is carried out in a reactor, which is a four-necked round-bottom flask equipped with a stirrer, thermometer, glycerin bath, separating funnel, reflux condenser, thermostat. 46 g of ethylenediamine are poured into the reactor, the temperature in the reactor is brought to 30°C and 0.23 g of the catalyst

is tetraethylammoniummethoxide (alcohol solution). With stirring, 106.0 g of propenenitrile (acrylonitrile) is added dropwise to the reactor through a separating funnel and the mixture is stirred for two hours.

The reaction of the synthesis of triethylenediamine-edicyan:



Next, a solution of methanal (37% aqueous solution) was added to the reaction mixture, in a molar ratio to ethylenediamine equal to 1:2. At a temperature of 30°C, the mixture is stirred for two hours to obtain a compound of structure:

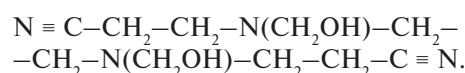


Table 1

Basic technical requirements for waterproofing various structures

Material properties	Hydraulic structures	Overground structures	Underground structures	Roofs
Water absorption, %wt.	1.0	3.0	1.5	5.0
Swelling, %vol.	0.5	1.0	0.8	1.5
Heat resistance, not less, °C	+40	+60	+40	+70
Brittleness temperature, °C	–15	–40	–5	–50
Tensile strength at break, N/m, MPa	1.0	0,8	0.5	1,5
Resistance against aggression:				
– Total acid, pH, less	5.0	4.0	4.0	6.5
– Alkaline, g/l	80	100	150	50
– Sulfate, mg/l	2000	5000	2000	1000
Decrease in elongation after 500 h, %	25	10	30	5
Minimum durability, years	50	10	50	10

Table 2

Composition of mastics (polymer–bitumen), wt%

Component	Bitudien-3	Bitudien-L	Bitulen-90
Powdered polyethylene	—	—	3
Polydiene	20	20	—
Petroleum bitumens for insulation of oil-and-gas pipelines:			
– BPI-IV	—	—	97
– BPI-V	80	80	—

Table 3

Main technical properties of bitumen-polymer mastics

Mastic	SPby ring-and-ball method, K, not less	Elongation, cm, not less	Penetration, 10 ⁻¹ mm, not less	Maximum temperature of the transported product, K	Permissible ambient temperature when applying mastic, K
Bitudien 3	343	4	30	293	253–278
Bitudien-L	363	3	20	308	263–303
Bitulen-90	363	2	15	308	268–308

Table 4

Characteristics of insulating bitumen GOST 9812-61

Indicators	Insulating		
	BPI-IV	BPI-IV-3	BPI-V
1) Penetration ₂₅ , 0.1 mm	25–40	30–40	not less 20
2) Elongation at 25°C, cm, not less	4	4	2
3) Softening point, °C, not less	75	65–75	90
4) Water resistance for 24 hours, % weight, no more	0.2	0.2	0.2
5) Content, %:			
a) water-soluble compounds, no more;	0.2	0.2	0.2
б) asphaltogenic acids, not less;	1.25	1.25	1.25
в) paraffin, no more;	—	4	—
г) sulfur, no more	—	2	—

Ethanic acid is added dropwise to the resulting compound through a separating funnel (the molar ratio of ethanic acid to ethylenediamine is 2:1). Stirring is carried out at a temperature of 30–40°C for at least three hours.

During the study, the following methods were used:

1. Compounding of additives is the mixing of different additives in different proportions in order to improve their effect on the properties of bitumen. Additives in different mass ratios were placed in a metal container, placed on a hotplate, a stirrer was installed and stirred for 15 minutes, then the stirrer was turned off, and a sample was taken to determine various properties. After that, the stirrer was turned on, and so every 15 minutes for two hours.

2. Compounding bitumen with additive

In a metal container, 100 g of bitumen was taken and, depending on the ratio, the additive, a stirrer was placed there and stirred for one hour, and a sample was taken for analysis, turning off the stirrer.

3. Softening temperature according to GOST 11506-73

The temperature at which the bitumen in the ring of given dimensions softens and, moves under the weight of the ball, touches the disk of the device. Pour bitumen with some excess into two rings, which are preheated. After cooling the rings with bitumen, smoothly cut off

the excess with a heated knife flush with the edges of the rings. Install a thermometer in the intermediate hole. Bitumen research is carried out in a glycerin bath at a temperature of 33–35°C. After 10 minutes, the suspension is removed, a heated steel ball is placed with tweezers, and placed back into the bath, set so that the plane of the rings is horizontal.

For each ring and ball, we note the temperature at which the bitumen squeezed out by the ball touches the control disk of the apparatus.

4. Penetration according to GOST 11501-73. Essence — measuring the depth of penetration of the penetrometer needle into the test sample at a given load, temperature and time. We place the cup with bitumen in a bath filled with water. The water temperature in the bath should be 25°C. The depth of penetration of the needle is determined at 25°C and 0°C. Remove the cup with the sample from the bath after 60 minutes, and place it in a vessel with water with a capacity of at least 1 liter. We put the container on one hundred of laboratory installation and bring the end of the needle to the surface of the material under study so that the needle touches it slightly. We set the reading to zero, turn on the stopwatch, press the device button, allowing the needle to freely enter

the test sample for 5 seconds. Releasing the button, write down the readings (we take measurements 3 times). The depth of penetration of the needle at 0°C is determined with the changes indicated below.

Pour ice water into the bath. The water temperature should be 0°C, the sample is kept for 60 minutes.

5. Adhesion

Essence – to determine the adhesion of bitumen to a metal surface.

Heat 0.5 g of the test sample on a metal plate. Cover with another hot plate and place a weight of 500 grams on top. We make two samples. When the plates have cooled down, we apply a tensile load and write down the readings in kgf/cm.

6. Heatresistance

The essence is to determine the resistance to heat.

We weigh the plates and pour a certain amount of heated bitumen onto them. After cooling, cut off the edges and weigh the plate with bitumen.

Determine the mass of bitumen before heating (m_{b1}). We install the plate in a vertical position in a muffle furnace and keep it at 125°C for 4 hours. After cooling, cut off the edges of the plate and weigh it. Determine the mass of the remaining bitumen (m_{b2}). Heat resistance is determined by the formula, in%:

$$\% = \frac{m_{b1} - m_{b2}}{m_{b1}} \times 100.$$

RESULTS

When performing the experiment, the optimal synthesis parameters were selected, providing a high yield of the fixer, such as temperature, reaction time, molar ratio of reactants. The results of the experiment are shown in Figures 1–3.

According to the presented graph, as the temperature rises from 30° to 40°C, the yield of the reaction products

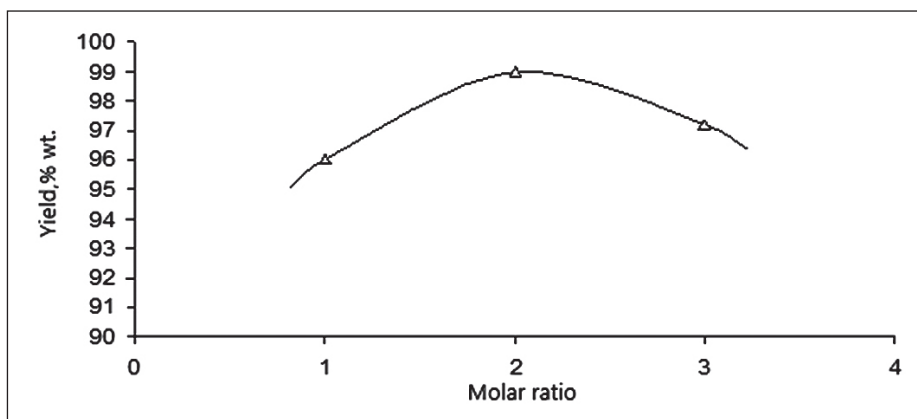


Fig. 1. Influence of the molar ratio of reactants to the output of dicyandiammonium compound: ethylenediamine : propene nitrile : methanal : ethanoic acid
1 – 1,0:2,0:2,1:2,0; 2 – 1,0:2,0:2,0:2,0; 3 – 1,0:2,0:2,0:2,1

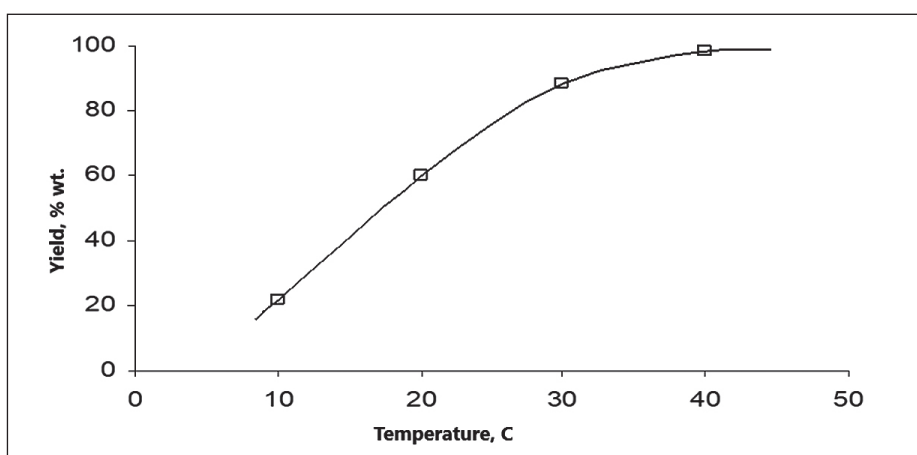


Fig. 2. Dependence of the yield of dicyandiammonium compounds from temperature (* exposure duration 0.5 hours)

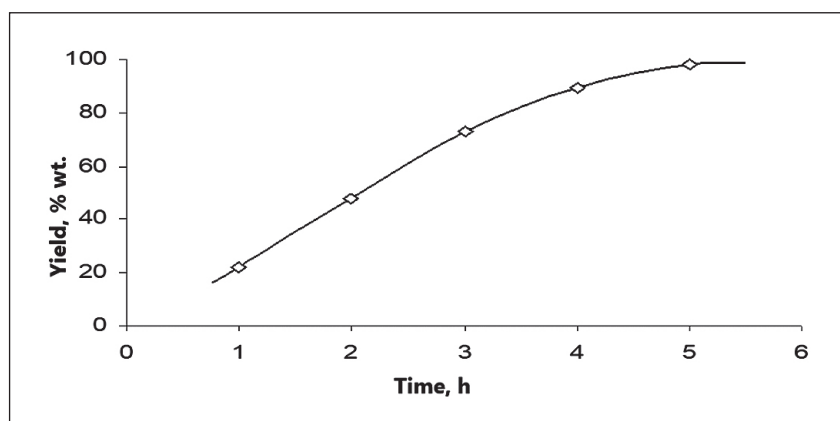


Fig. 3. Dependence of the yield of dicyandiammonium compounds on reaction time

increases. A further increase in temperature does not affect the yield of the dicyandiammonium compound.

At a temperature of 40°C, the synthesis of the dicyandiammonium compound is completed in 5.0 h with a yield of the reaction product of 99.0% wt.

The dicyandiammonium compound obtained was identified by the elemental composition of the NMR¹N spectrum.

The obtained NMR¹N spectra confirm the proposed structure of the synthesized dicyandiammonium compound.

At a temperature of 40°C, the synthesis of the dicyandiammonium compound is completed in 5.0 h with a yield of the reaction product of 99.0% wt.

The obtained dicyandiammonium compound was identified by the elemental composition of the NMR¹N spectrum, which is shown in Figure 3.13. The NMR¹N spectrum was recorded on a Bruker-AM-300 spectrometer with an operating frequency of 300 MHz, the in-

ternal standard is TMS. The spectrum was recorded in deuterio-acetone (D-Ac), chemical shifts were measured on the δ -scale and given in ppm, and the spin-spin coupling constant (SSCC) in Hz. NMR¹N spectrum: 1.3 (s, 6H, CH₃); 2.35 (m, 4H, CH₂); 2.63 (m, 4H, CH₂); 2.73 (m, 2H, CH₂); 3.05 (m, 2H, CH₂); 3.72 (d, 2H, CH₂, J = 10); 3.8 (d, 2H, CH₂, J = 10).

In the NMR¹N spectrum, due to the presence of symmetry in the molecule, only seven groups of peaks are observed. Intensive multiplet 2.05 ppm. is the resonance signal of the protons of the partially deuterated acetone present in the deuterioacetone. Singlet 1.3 ppm with an integrated intensity of six protons belongs to the methyl protons of two equivalent acetate groups. In the weakest field, the multiplet is 3.72÷3.80 ppm. (integrated intensity – four protons), two equivalent methylene groups with nitrogen atoms and hydroxyl groups in the α -positions resonate. Multiplet 2.35 ppm (integrated intensity – four protons) refers to two methy-

Table 5

Physical and chemical indicators of dicyandiammine

Name	Indicator
1. Appearance	Syrupy mass from colorless to yellow
2. Solubility in distilled water at 30°C	complete
3. The relative viscosity of an aqueous solution in a ratio of 1:1 vol. at 20°C, cPs	1.480
4. Density at 20°C, g/cm ³	1.0800
5. pH	7.0
6. Acidity, mg KOH	19.1
7. Stability, rpm (3000 rpm, τ = 15 min.)	Resilient (does not delaminate)
8. Mass fraction of nitrogen, % wt.	15.0

lene groups at C ≡ N – group. The other three groups of peaks 2.63 ppm, 2.73 ppm. and 3.05 ppm. belong to four CH₂-groups at nitrogen atoms (the integrated intensity corresponds to eight protons).

The obtained NMR¹N spectra confirm the proposed structure of the synthesized dicyandiammonium compound.

The physicochemical parameters of the dicyandiammonium compound are shown in Table 5.

The dicyandiamine synthesized by us has high efficiency when added to bitumen as a fixing agent, is environmentally safe during its synthesis and practical use due to the complete binding of free ethanic acid and methanal in the complex.

DISCUSSION

It follows from the literature review that at present the production of nitrogen-containing compounds is used in many areas of industry.

The current stage of development of the petrochemical industry is currently focused on obtaining products of the main organic and petrochemical synthesis with high technical and operational characteristics.

In this direction, diamines are of scientific and practical interest, as the practical experience of their use confirms, they provide protection of polymer compounds from abrasion, aging, exposure to an aggressive environment, improve their physical and mechanical properties, and have a long service life.

In order to study the effect of the modifier (fixer) synthesized by us on bitumen, the following methods of analysis were carried out: penetration, softening temperature (ring-and-ball method).

An increase in the concentration of the fixer in the test samples did not lead to its stratification with bitumen, which indicates their compatibility. The experimental results are shown in table 6.

The presented data indicate an increase in the penetration index with an increase in the mass fraction of dicyandiamine. That is, an excessive increase in the content of dicyandiamine leads to a decrease in the hardness of the samples, which indicates a decrease in the value of such an indicator as surface tension.

Measurements of the softening point (using the ring-and-ball method) showed that with an increase in the content of the fixer, an increase in the softening temperature occurs, which means that the modified samples

Table 6

Dependence of indicators on the concentration of the modifier

Name of samples	Qualitative indicators	
	Penetration, mm	Temperature softening (Ts), °C
Initial bitumen	3.1	95
Bitumen with 10% additive	3.3	98
Bitumen with 20% additive	3.6	100
Bitumen with 30% additive	3.9	102
Bitumen with 40% additive	4	103

Table 7

Research results at various concentrations

Concentration, %	Softening point, °C	Penetration at 25°C, mm	Penetration at 0°C, mm	Adhesion, kgf/cm	Heat resistance, %
10	160	3.3	6	41	16.7
20	163	3.6	6	39	16.0
30	165	3.9	6.3	35	15.7
40	167	4	6.5	32	15.0
50	168	Not a homogeneous mixture			
60	169	Not a homogeneous mixture			

are not subject to softening at the temperature at which the initial sample softens and softens only with a further increase in temperature, and with an increase in the content of the fixer, the difference is T_s only increases.

Thus, the proposed bitumen fixer, at various ratios, gives the product elasticity and increased resistance to softening with increasing temperature.

In order to study the operational characteristics of road bitumen for its compatibility with the fixer, experiments were carried out at higher softening temperatures.

Compounding was carried out at a temperature of 210°C for 60 minutes. The resulting products have been tested to determine their physical and mechanical characteristics. The research results are presented in table 7.

According to the presented data in the table, the best properties of bitumen with a modifier were found at a concentration of a fixer of 30–40% by weight.

It can also be noted that an increase in temperature contributed to an improvement in technical performance.

Characteristics of the obtained samples: homogeneous structure, high softening point and good adhesion properties. It was also observed that an increase in the content of the fixer leads to the destabilization of the dispersed structure of bitumen.

CONCLUSION

Thus, the outcome of the study is a fixative based on an additive, a derivative of triethylenediaminedicyan, which led to the formation of a nanodispersed structure of bitumen of the “sol-gel” type, the quality indicators of which would meet the requirements of the new standard GOST 33133-2014 “Viscous road oil bitumen”. Its synthesis laws and physical and chemical parameters were studied, the structure was proved.

The proposed bitumen fixer, at various ratios, gives the product elasticity and increased resistance to softening with increasing temperature.

REFERENCES

1. Gun R.B. *Petroleum bitumens*. Moscow: Chemistry; 1983.
2. Rebinder P.A. *Surface phenomena in dispersed systems*. Moscow: Nauka; 1978.
3. Safieva R.Z. *Physicochemistry of oil. Physical and chemical foundations of oil refining technology*. Moscow: Chemistry; 1998.
4. Rudenskaya I.M., Rudensky A.V. *Organic binders for road construction*. Moscow: Infra-M; 2010.
5. Nelyubova V.V., Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Podgorny I.I., Palshina Yu.V. Features of nanostructured binder depending on the genesis of raw materials. *Bulletin of BSTU named by V.G. Shukhov*. 2015; 2: 25–28.
6. Gotovtsev V.M., Shatunov A.G., Rumyantsev A.N., Sukhov V.D. Nanotechnology in the production of asphalt concrete. *Fundamental research*. 2013; 11: 191–195.
7. Grudnikov I.B. *Production of petroleum bitumen*. Moscow: Chemistry; 1983.
8. Tanatarov M.A. et al. *Technological calculations of oil refining units*. Moscow: Chemistry; 1987.
9. Ishmuratova R.T., Kalimullin L.I., A.A. Islamutdinova. Study of the effect of spent catalysts in highly oxidized road bitumen. In: *Fundamental and applied research in technical sciences in the context of the transition of enterprises to import substitution: problems and solutions: Collection of materials of the All-Russian scientific and technical conference with international participation*. Vol. 1. Ufa: USPTU Publishing House; 2015. p. 335–338.
10. Ishmuratova R.T., Islamutdinova A.A. Polymer additives to waterproofing bitumen. In: *Innovative technologies in industry: education, science and production: Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Ufa: Publishing house “Petroleum engineering”; 2016. p. 97–98.
11. Gurevich I.L. *Oil and Gas Processing Technology*. Moscow: Chemistry; 1972.
12. Pechenii B.G. *Bitumen polymer and petroleum polymer compositions*. Moscow: TsNIITEneftkhim; 1992.
13. Sardanashvili A.G. *Examples and tasks for oil and gas technology*. Moscow: Chemistry; 1973.
14. Rudin M.G., Drabkin A.E. *Brief reference book of oil refiners*. Leningrad: Chemistry; 1980.
15. Guseynov D.A. et al. *Technological calculations of oil refining processes*. Moscow: Chemistry; 1964.
16. Kisina A.M. etc. *Polymerbituminous roofing and waterproofing materials*. Leningrad: Stroyizdat; 1983.
17. Rudin M.G. *Pocket reference book of oil refiner*. Leningrad: Chemistry; 1989.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy V. Boev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of General Chemical Technology, Branch of Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Sterlitamak, Russia, 9196011116@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9255-6142>

Aigul A. Islamutdinova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Chemical Technology, Branch of Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Sterlitamak, Russia, aygul_ru@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-2097>

Elmira K. Aminova – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Chemical Technology, Branch of Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Sterlitamak, Russia, k.elmira.k@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3105-3477>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 06.09.2021; approved after reviewing 28.09.2021; accepted for publication 04.10.2021.

Научная статья

УДК 667.621.3

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-319-327>



Получение закрепителя для гидроизоляционных дорожных битумов

Евгений Владимирович Боев* , Айгуль Акрамовна Исламутдинова , Эльмира Курбангалиевна Аминова

Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Стерлитамак, Россия

*Автор, ответственный за переписку: e-mail: k.elmira.k@yandex.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Битум представляет собой смесь углеводородов и гетероорганических соединений. Это один из самых популярных сегодня строительных материалов. В связи с ростом потребления битумов различного назначения возрастают требования к его качественным характеристикам, что подталкивает к всестороннему изучению физико-механических свойств и способам его модификации. В настоящее время применяются различные добавки, начиная с материалов неорганического характера до органических связующих, в том числе отходы химических, нефтехимических и бытовых производств. Эти добавки создают внутри битума нанодисперсную структуру, обеспечивающую изменение физико-механических свойств в требуемом направлении. **Методы и материалы.** В работе предложен способ получения закрепителя для гидроизоляционных дорожных битумов на основе азотсодержащих органических соединений. Целью исследования является изучение влияния добавки-производного триэтилендиаминдициана, которое приводит к образованию нанодисперсной структуры битума типа «золь-гель», показатели качества которого будут соответствовать требованиям нового стандарта ГОСТ 33133-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие». Объектом исследования является установка производства битумов цеха № 14 ООО «Газпром нефтехим Салават», предназначенная для получения товарных битумов: нефтяных дорожных марок БНД 90/130 по ГОСТ 22245-90, применяемых в дорожном, гражданском и промышленном строительстве в качестве связующего и гидроизоляционного материала. **Результаты и обсуждения.** В ходе исследования были выявлены характер взаимодействия и влияние модификатора на свойства битума, которые обеспечивают получение наноструктурированного битума типа «золь-гель». В результате исследования сравнительная оценка влияния закрепителя на свойства гидроизоляционных битумов выявила значительное улучшение физико-механических свойств по сравнению с битумом марки БНД 90/130. **Заключение.** Полученное соединение на основе триэтилендиаминдициана может быть использовано в качестве закрепляющей добавки к дорожным битумам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: битум, гудрон, асфальтены, масла, дициандиаммониевое соединение, нанодисперсные системы, закрепляющая добавка, физико-химические свойства.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Боев Е.В., Исламутдинова А.А., Аминова Э.К. Получение закрепителя для гидроизоляционных дорожных битумов // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 5. С. 319–327. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-5-319-327>

ВВЕДЕНИЕ

Применение высококачественных нефтяных битумов обеспечивает долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях интенсивного движения автотранспорта. Качество битумов как нефтяных дисперсных систем непосредственно связано с их структурой и свойствами, которые определяются количественным соотношением масел, смол и асфальтенов [1–3]. Эти три основных структурных элемента битумных вяжущих взаимодействуют между собой

и образуют ту или иную разновидность микрогетерогенной нанодисперсной структуры [4–6].

Физико-механические свойства битумов зависят от технологии получения и природы исходного сырья. Сырьевой источник получения битумов различного назначения — остаточные продукты нефтепереработки. Как показывает практика, эти остатки подвергают всевозможным способам модификации с целью придания им высоких качественных характеристик. В связи с увеличением темпов строительства в нашей стране потребление битумов продолжает

расти, поэтому производство и улучшение их качественных характеристик является актуальным [7, 8].

Модификации битума способствуют расширению температурного интервала работоспособности, повышению тепло- и морозостойкости, обеспечивая надежность и долговечность сооружений.

Получение высокоплавких битумов окислением сырья не позволяет добиться результатов по показателям качества, удовлетворяющих требованиям ГОСТ, поэтому компаундирование является наиболее оптимальным методом. Для создания высокоплавких композиций необходимо подобрать определенные добавки, которые выступают в роли вяжущих агентов, поэтому первым этапом работы было исследование процесса получения вяжущей добавки [9–11].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Способ получения гидроизоляционного состава путем смешения битума, полимерных добавок и пластификаторов, отличающийся тем, что процесс протекает в мягких условиях, полученный битум стоек при температуре от минус 20 до плюс 80°C. Известны модификации с изопреновыми сополимерами, олигомеризатами, с добавлением вяжущих не более 5–7% от 100% масс. гидроизоляционного состава.

Для повышения адгезии применяют мастику, она содержит дополнительно отход производства бутадиен-стирольного латекса, при следующем соотношении компонентов, % масс.: битум 20–25%, асбест 20–25%, отход производства бутадиен-стирольного латекса 3–15%, серный шлам 2,0–5,5%, вода – остальное. Применяются для модификации различные сополимеры, повышающие пластичность, уменьшая водопоглощение в соотношении % масс.: масляные углеводороды 55–63%, смолы 12–15%, асфальтены 25–30%, а в качестве добавки – атактический полипропилен или концентрат изопренов каучука с битумом в соотношении 1:1 при следующем соотношении, % масс.: окисленный остаток атмосферной перегонки нефти 85–95%, полимерная добавка 5–15%.

Битумно-латексная эмульсионная композиция, содержащая битум, эмульгатор на основе сульфоната и жирных синтетических кислот, которая повышает атмосферостойкость, при следующем соотношении, % масс.: битум 100%, кубовый остаток жирных синтетических кислот 1–2%, эмульгатор 2,8–5,1%, синтетический латекс 65–70%, 45–48%-ный раствор лигносульфонатов 2–4%, гексаметилдисилазан 2–4%, вода 55–65%.

В ходе получения композиции для гидроизоляции наполнителем является полиэтилен, пластификатор, экстракты (отходы после селективной очистки дистиллятных масел, асбест и полипропиленгликоль).

Данная композиция отличается высокой атмосферостойкостью, следующим соотношением компонентов, % масс.: полиэтилен 1,0–2,2%, асбест 17–30%, экстракт 3,0–5,5%, пропиленгликоль 0,2–1,5%, битум – остальное.

Битумная композиция для кровельных и гидроизоляционных материалов, содержащая битум и минеральный наполнитель, отличающаяся тем, что с целью повышения биостойкости композиции в качестве наполнителя она содержит кек медеплавильного производства, при следующем соотношении компонентов, % масс.: битум 75–90%, кек 10–25%.

Известно в качестве связующего включение в состав битума бутадиен-стирольных каучуков. Их применение позволяет улучшить технические характеристики продукта, наполнители для битума – асбест, уайтспирит, каучук (бутадиен-стирольный), масло (автомобильное) [12–14].

Гидроизоляционная композиция, отличающаяся тем, что с целью повышения атмосферостойкости композиции в битум добавляют полиэтилен, масло (автомобильное), олиговинилэтанолламин, талькомагнезит.

Способ получения гидроизоляционной мастики

Мастика содержит 39–99% масс. окисленного битума и 1–8% окисленного полиэтилена. Для регулирования вязкости в ее состав вводится до 40% насыщающего вещества – неокисленный битум. Оптимальные свойства имеют мастики, содержащие 71–89% окисленного битума, 1–4% полиэтилена и 10–25% насыщающего вещества, в качестве наполнителя используется 50–60% минеральной крошки. Мастику готовят добавлением окисленного битума к окисленному полиэтилену. Полиэтилен, молекулярная масса – 2000–6000, температура размягчения 130–150°C, вязкость по Бруксфилду при 149°C 5000–30000 сП.

Гидроизоляционная композиция, включающая битум, термопластичный сополимер этилена, пропилена, этилидена, отличающаяся тем, что с целью повышения биостойкости она содержит наполнитель типа золы, асбеста, стекловолокна, полимерных волокон, сажи силикатного или карбонатного минеральных порошков, при следующем соотношении композиций, % масс.: битума 20%, тройного сополимера и полиэтилена 20%, наполнителя 60% (содержание полиэтилена равно 0,3% масс. от массы тройного сополимера).

Способ получения битумной композиции для грунтования стальных труб, позволяющих увеличить стабильность материала, применяют в качестве вяжущего СПЛ (50:50). Готовится путем смешения при 2000°C в течение 2 часов смеси со следующим содержанием компонентов, % масс.: битум 45%, смесь

СПЛ 42%, 2-метил-1-бутен и 3-метил-1-бутен 42%, полиэтилен высокой плотности 5%, изобутилового каучука 5%, эпоксидной смолы 5%. Нанесенное струйным обливом покрытие имеет высокую прочность на разрыв.

Гидроизоляционный материал из полимерного битума, отличающийся тем, что покровный слой состоит из смеси битума (пенетрация 70–420*0,1 мм, температура размягчения 20–50°C, 10–30% гомо- и сополимеров на основе атактического полипропилена, 5–20% изотактического полипропилена (индекс расплава 20–40)). Наружная поверхность покровного слоя содержит кристаллы полипропилена в форме сферолитов, улучшающих склеивание и препятствующих выпотеванию из битума масляных компонентов.

Битум при температуре 160–200°C смешивают с полимерами, смесь гомогенизируют при высокой гравитации, при 180–200°C отливают в виде пленки и охлаждают со скоростью 120 К/мин.

Гидроизоляционная композиция, отличающаяся тем, что с целью повышения способности налипания к бетону и металлу, а также повышения температурного интервала к битуму добавляют полипропилен и отходы фильтрации пластификаторов. Шлам включает 30–50% диалкилфталатов, 2–7% натриевых солей моноэфиров фталевой кислоты, остальное активированный уголь. Предлагаемая композиция имеет температуру размягчения по КиШ 92–100°C, теплостойкость 85–95°C, адгезию к бетону и металлу соответственно 0,61–0,86 и 0,7–0,9 МПа, водопоглощение 0,8–0,83%.

В настоящее время многие исследователи вносят большой вклад в подборе эффективных наполнителей, вяжущих и т.д., с целью придания битуму трещиностойкости, прочности, адгезии и других эксплуатационных характеристик в различных климатических условиях [15]. При изучении реагентов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ, руководствовались условиями работы материала и конструкции реакционного узла, а также климатическими воздействиями (табл. 1).

Эти свойства и были основными критериями при выборе полимерных добавок к битуму.

Полиэтилен и СЭП по характеру воздействия на битум относится к добавкам, изменяющим структуру продукта. В табл. 2 представлен состав мастик на основе полимерных добавок к битуму.

В настоящее время существуют ГОСТы на битумы, которые применяются в качестве изоляционных битумов. Характеристика изоляционных битумов приведена в табл. 4 [16–17].

Синтез дициандиамин проводят в реакторе, представляющем собой четырехгорлую круглодонную колбу, снабженную мешалкой, термометром, глицериновой баней, делительной воронкой, обратным холодильником, термостатом. В реактор заливают 46 г этилендиамин, доводят температуру в реакторе до 30°C и добавляют 0,23 г катализатора — тетраэтиламмоний этоксида (спиртовой раствор). При перемешивании в реактор через делительную воронку каплями добавляют 106,0 г пропеннитрил (акрилонитрил) и перемешивают смесь в течение двух часов.

Таблица 1

Основные технические требования, предъявляемые к гидроизоляции различных сооружений

Свойства материалов	Гидро- сооружения	Надземные сооружения	Подземные сооружения	Кровли
Водопоглощение, % масс.	1,0	3,0	1,5	5,0
Набухание, % об.	0,5	1,0	0,8	1,5
Теплостойкость, не менее, °C	+40	+60	+40	+70
Температура хрупкости, °C	–15	–40	–5	–50
Предел прочности при разрыве, н/м, МПа	1,0	0,8	0,5	1,5
Стойкость против агрессии: – Общекислотной, pH, менее – Щелочной, г/л – Сульфатной, мг/л	5,0 80 2000	4,0 100 5000	4,0 150 2000	6,5 50 1000
Снижение относительного удлинения через 500 ч, %	25	10	30	5
Минимальная долговечность, лет	50	10	50	10

Таблица 2

Состав макстик (полимерно-битумных), % масс.

Компонент	Битудиев-3	Битудиев-Л	Битулен-90
Порошкообразный полиэтилен	—	—	3
Полидиен	20	20	—
Битумы нефтяные для изоляции нефтегазопроводов:			
– БНИ-IV	—	—	97
– БНИ-V	80	80	—

Таблица 3

Основные технические свойства битум-полимерных макстик

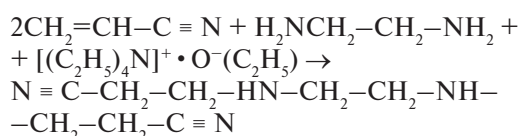
Макстика	Тр по КиШ, К, не менее	Растяжимость, см, не менее	Пенетрация, 10–1 мм, не менее	Максимальная температура транспортируемого продукта, К	Допустимая температура окружающего воздуха при нанесении макстики, К
Битудиев 3	343	4	30	293	253–278
Битудиев-Л	363	3	20	308	263–303
Битулен-90	363	2	15	308	268–308

Таблица 4

Характеристика изоляционных битумов ГОСТ 9812-61

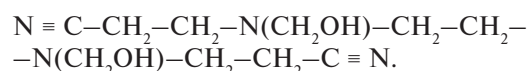
Показатели	Изоляционные		
	БНИ-IV	БНИ-IV-3	БНИ-V
1) Пенетрация ₂₅ , 0,1 мм	25–40	30–40	не менее 20
2) Растяжимость при 25°C, см, не менее	4	4	2
3) Температура размягчения, °C, не ниже	75	65–75	90
4) Водонепроницаемость за 24 ч, % вес, не более	0,2	0,2	0,2
5) Содержание, %:			
а) водорастворимых соединений, не более;	0,2	0,2	0,2
б) асфальтогеновых кислот, не менее;	1,25	1,25	1,25
в) парафина, не более;	—	4	—
г) серы, не более	—	2	—

Реакция синтеза триэтилендиаминдициана:



Далее в реакционную смесь добавляют раствор метаноля (37 %-ный водный раствор) в мольном со-

отношении к этилендиамину, равным 1:2. При температуре 30°C смесь перемешивают два часа, получая соединение структуры:



К полученному соединению через делительную воронку каплями добавляют этановую кислоту

(мольное соотношение этановой кислоты к этилендиамину равно 2:1). Перемешивание ведут при температуре $30\div 40^{\circ}\text{C}$ не менее трех часов.

В ходе исследования использовали следующие методы:

1. Компаундирование добавок — это смешивание различных добавок в разных соотношениях с целью улучшения их влияния на свойства битума. В металлическую емкость помещали добавки в разных массовых соотношениях, ставили на плитку, устанавливали мешалку и перемешивали в течение 15 мин., затем выключали мешалку, отбирали пробу для определения различных свойств. После этого включали мешалку, и так каждые 15 минут в течение двух часов.

2. Компаундирование битума с добавкой

В металлическую емкость брали 100 г битума и, в зависимости от соотношения, добавку, туда же помещали мешалку и перемешивали в течение одного часа и отбирали пробу для анализов, выключая мешалку.

3. Температура размягчения по ГОСТ 11506-73

Температура, при которой битум, находящийся в кольце заданных размеров, размягчается и перемещается под весом шарика, касается диска прибора. Битум наливаем с некоторым избытком в два кольца, которые предварительно нагреваем. После охлаждения колец с битумом избыток гладко срезаем нагретым ножом вровень с краями колец. В промежуточное отверстие устанавливаем термометр. Исследование битума проводят в глицериновой бане при температуре $33\text{--}35^{\circ}\text{C}$. Через 10 минут подвеску вынимают, кладут пинцетом нагретый стальной шарик и помещают обратно в баню, установленную так, чтобы плоскость колец была горизонтальной.

Для каждого кольца и шарика отмечаем температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется контрольного диска аппарата.

4. Пенетрация по ГОСТ 11501-73. Сущность — измерение глубины проникновения иглы пенетromетра в испытуемый образец при заданных нагрузках, температуре и времени. Чашку с битумом помещаем в баню, заполненную водой. Температура воды в бане должна быть 25°C . Глубину проникновения иглы определяем при 25°C и 0°C . Чашку с образцом вынимаем из бани через 60 минут и помещаем в сосуд с водой емкостью не менее 1 л. Емкость ставим на стол лабораторной установки и подводим конец иголки к поверхности исследуемого материала так, чтобы иголка слегка касалась ее. Ставим показание на ноль, включаем секундомер, жмем кнопку прибора, давая игле свободно входить в испытуемый образец в течение 5 секунд. Отпустив кнопку, записываем показания (замеры проводим 3 раза). Глубину проникновения иглы при 0°C определяем с изменениями, указанными ниже.

В баню наливаем воду со льдом. Температура воды должна быть 0°C , образец выдерживаем 60 минут.

5. Адгезия

Сущность — определить сцепляемость битума с металлической поверхностью.

На металлической пластинке нагреваем 0,5 г испытуемого образца. Другой горячей пластинкой накрываем и устанавливаем сверху груз массой 500 грамм. Делаем две пробы. Когда пластинки остынут, придаем нагрузку на разрыв и записываем показания в кгс/см.

6. Теплостойкость

Сущность — определить стойкость против нагревания.

Взвешиваем пластинки и наливаем на них некоторое количество нагретого битума. После охлаждения обрезаем края и взвешиваем пластинку с битумом.

Определяем массу битума до нагревания (m_{61}). Устанавливаем в вертикальном положении пластинку в муфельной печи и выдерживаем при 125°C в течение 4 часов. После охлаждения обрезаем края пластинки и взвешиваем ее. Определяем массу оставшегося битума (m_{62}). Теплостойкость определяем по формуле, в %:

$$\% = \frac{m_{61} - m_{62}}{m_{61}} \times 100.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении эксперимента были подобраны оптимальные параметры синтеза, обеспечивающие высокий выход закрепителя, такие как температура, время реакции, мольное соотношение реагирующих веществ. Результаты эксперимента представлены на рис. 1–3.

Согласно представленному графику с повышением температуры от 30 до 40°C выход продуктов реакции увеличивается. Дальнейшее повышение температуры не влияет на выход дициандиамминового соединения.

При температуре 40°C синтез дициандиамминового соединения заканчивается за 5,0 ч с выходом продукта реакции 99,0% мас.

Идентификацию полученного дициандиамминового соединения проводили по элементному составу ЯМР¹H — спектра.

Полученные ЯМР¹H — спектры подтверждают предполагаемую структуру синтезированного дициандиамминового соединения.

При температуре 40°C синтез дициандиамминового соединения заканчивается за 5,0 ч с выходом продукта реакции 99,0% мас.

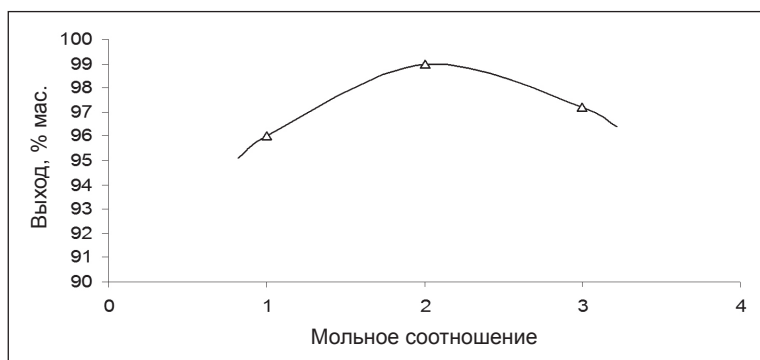


Рис. 1. Влияние мольного соотношения реагирующих веществ на выход дициандиаммониевого соединения:
этилендиамин : пропеннитрил : метаналь : этановая кислота
1 – 1,0:2,0:2,1:2,0; 2 – 1,0:2,0:2,0:2,0; 3 – 1,0:2,0:2,0:2,1

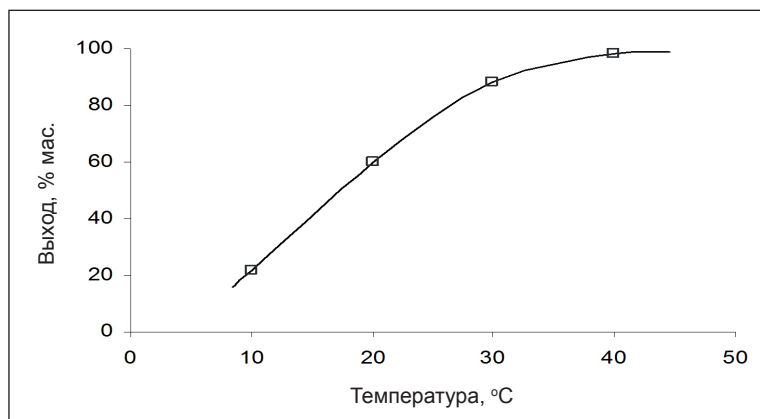


Рис. 2. Зависимость выхода дициандиаммониевого соединения от температуры (продолжительность экспозиции 0,5 часа)

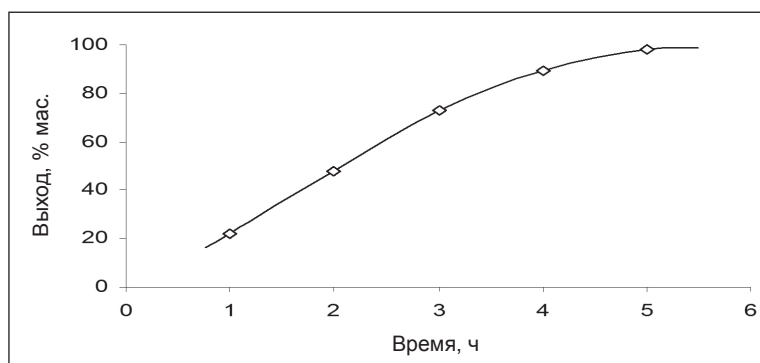


Рис. 3. Зависимость выхода дициандиаммониевого соединения от времени реакции

Идентификацию полученного дициандиаммониевого соединения проводили по элементному составу ЯМР¹H – спектра, который приведен на рис. 3.13. Спектр ЯМР¹H записан на спектрометре «Bruker-AM-300» с рабочей частотой 300МГц, внутренний стандарт ТМС. Спектр снят в дейтеро-ацетоне

(Д-Ас), химические сдвиги измерены в δ-шкале и даны в м.д., а константа спин-спиновой взаимодействия (KССВ) в Гц. Спектр ЯМР¹H: 1,3 (с, 6H, CH₃); 2,35 (м, 4H, CH₂); 2,63 (м, 4H, CH₂); 2,73 (м, 2H, CH₂); 3,05 (м, 2H, CH₂); 3,72 (д, 2H, CH₂, J = 10); 3,8 (д, 2H, CH₂, J = 10).

В спектре ЯМР¹H из-за наличия симметрии в молекуле наблюдается всего семь групп пиков. Интенсивный мультиплет 2,05 м.д. — это резонансный сигнал протонов частично дейтерированного ацетона, присутствующего в дейтеро-ацетоне. Синглет 1,3 м.д. с интегральной интенсивностью в шесть протонов принадлежит метильным протонам двухэквивалентных ацетатных групп. В наиболее слабом поле мультиплет 3,72÷3,80 м.д. (интегральная интенсивность — четыре протона) резонируют две эквивалентные метиленовые группы с атомами азота и гидроксильными группами в α-положениях. Мультиплет 2,35 м.д. (интегральная интенсивность — четыре протона) относится к двум метиленовым группам при C ≡ N — группе. Остальные три группы пиков 2,63 м.д., 2,73 м.д. и 3,05 м.д. относятся к четырем CH₂-группам при атомах азота (интегральная интенсивность соответствует восьми протонам).

Полученные ЯМР¹H-спектры подтверждают предполагаемую структуру синтезированного дициандиаммониевого соединения.

Физико-химические показатели дициандиаммониевого соединения приведены в табл. 5.

Синтезированный нами дициандиаммин обладает высокой эффективностью при добавке в битум в качестве закрепителя, экологически безопасен при его синтезе и практическом применении за счет полного связывания в комплексе свободной этановой кислоты и метанала.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из литературного обзора следует, что в настоящее время производство азотсодержащих соединений используется во многих областях промышленности.

Современный этап развития нефтехимической промышленности в настоящее время ориентирован на получение продуктов основного органического и нефтехимического синтеза, обладающих высокими техническими и эксплуатационными характеристиками.

В этом направлении научный и практический интерес представляют диамины, как подтверждает практический опыт их применения, они обеспечивают защиту полимерных соединений от истирания, старения, воздействия агрессивной среды, улучшают их физико-механические свойства, имеют долгий срок службы.

С целью изучения влияния на битум синтезированного нами модификатора (закрепителя) были проведены следующие методы анализа: пенетрация, температура размягчения (метод КиШ).

Увеличение концентрации закрепителя в опытных образцах не приводило к его расслоению с битумом, что свидетельствует об их совместимости. Результаты экспериментов приведены в табл. 6.

Представленные данные свидетельствуют об увеличении показателя пенетрации по мере увеличения массовой доли дициандиамина. Т.е. чрезмерное повышение содержания дициандиамина ведет к уменьшению твердости образцов, что свидетельствует о снижении величины такого показателя, как поверхностное натяжение.

Замеры температуры размягчения (по методу КиШ) показали, что при увеличении содержания закрепителя происходит увеличение температуры размягчения, а значит модифицированные образцы не подвержены размягчению при температуре, при которой происходит размягчение исходного образца, и размягчаются лишь при дальнейшем

Таблица 5

Физико-химические показатели дициандиамина

Наименование	Показатель
1. Внешний вид	Сиропообразная масса от бесцветного до желтого цвета
2. Растворимость в дистиллированной воде при 30°C	полная
3. Относительная вязкость водного раствора в соотношении 1:1 об. при 20°C, спз	1,480
4. Плотность при 20°C, г/см ³	1,0800
5. pH	7,0
6. Кислотность, мг КОН	19,1
7. Стабильность, об/мин (3000 об/мин., τ = 15 мин.)	Устойчив (не расслаивается)
8. Массовая доля азота, % мас.	15,0

Таблица 6

Зависимость показателей от концентрации модификатора

Наименование образцов	Качественные показатели	
	Пенетрация, мм	Температура размягчения (Тр), °С
Исходный битум	3,1	95
Битум с 10%-ной добавкой	3,3	98
Битум с 20%-ной добавкой	3,6	100
Битум с 30%-ной добавкой	3,9	102
Битум с 40%-ной добавкой	4	103

Таблица 7

Результаты исследований при различных концентрациях

Концентрация, %	Температура размягчения, °С	Пенетрация при 25°С, мм	Пенетрация при 0°С, мм	Адгезия, кгс/см	Теплостойкость, %
10	160	3,3	6	41	16,7
20	163	3,6	6	39	16,0
30	165	3,9	6,3	35	15,7
40	167	4	6,5	32	15,0
50	168	Негомогенная смесь			
60	169	Негомогенная смесь			

повышении температуры, причем с увеличением содержания закрепителя разница Тр только возрастает.

Таким образом, предложенный закрепитель битума при различных соотношениях, придает продукту эластичность и повышенную устойчивость к размягчению при увеличении температуры.

С целью изучения эксплуатационных характеристик дорожного битума на совместимость его с закрепителем были проведены опыты при более высоких температурах размягчения.

Компаундирование вели при температуре 210°С в течение 60 минут. Полученные продукты прошли анализы на определение физико-механических характеристик. Результаты исследований представлены в табл. 7.

Согласно представленным данным таблицы наилучшие свойства битума с модификатором выявлены при концентрации закрепителя 30–40 % масс.

Также можно отметить, что повышение температуры способствовало улучшению технических показателей. Характеристика полученных образцов: гомогенная структура, высокая температура размягчения и хорошие адгезионные свойства. Также

наблюдалось увеличение содержания закрепителя и дестабилизация дисперсной структуры битума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получено новое соединение класса дициандиаминов и изучено его применение в качестве наноструктурированной добавки к нефтяным битумам.

Изучены закономерности синтеза добавки и его физико-химические показатели, доказана структура полученного закрепителя.

Закрепитель на основе триэтилендиаминдициана обладает полимерно-вязкими свойствами, обеспечивающими высоким сцеплением с основой дорожного покрытия и стойкостью к агрессивным климатическим условиям за счет образования нанодисперсной структуры битума типа «золь-гель», соответствующие показателям качества согласно требованиям нового стандарта ГОСТ 33133-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие».

Предложенный закрепитель битума при различных соотношениях придает продукту эластичность и повышенную устойчивость к размягчению при увеличении температуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия, 1983. 504 с.
2. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. М.: Наука, 1978. 294 с.
3. Сафиева Р.З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти. М.: Химия, 1998. 448 с.
4. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Инфра-М, 2010. 267 с. 11.
5. Нелюбова В.В., Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Подгорный И.И., Пальшина Ю.В. Особенности наноструктурированного вяжущего в зависимости от генезиса сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 25–28.
6. Готовцев В.М., Шатунов А.Г., Румянцев А.Н., Сухов В.Д. Нанотехнологии в производстве асфальтобетона // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 191–195.
7. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. М.: Химия, 1983. 223 с.
8. Танатаров М.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти. М.: Химия, 1987. 352 с.
9. Ишмуратова Р.Т., Калимуллин Л.И., А.А. Исламутдинова. Исследование влияния отработанных катализаторов в высокоокисленном дорожном битуме. Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: проблемы и пути решения: Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. В 2 т. Уфа: Издательство УГНТУ, 2015. Т. 1. С. 335–338.
10. Ишмуратова Р.Т., Исламутдинова А.А. Полимерные добавки к гидроизоляционному битуму. Инновационные технологии в промышленности: образование, наука и производство: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2016. С. 97–98.
11. Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа. М.: Химия, 1972. 360 с.
12. Печеный Б.Г. Битумполимерные и нефтеполимерные композиции. М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1992. 283 с.
13. Сарданашвили А.Г. Примеры и задачи по технологии нефти и газа. М.: Химия, 1973. 357 с.
14. Рудин М.Г., Драбкин А.Е. Краткий справочник нефтепереработчика. Л.: Химия, 1980. 328 с.
15. Гусейнов Д.А. и др. Технологические расчеты процессов переработки нефти. М.: Химия, 1964. 308 с.
16. Кисина А.М. и др. Полимербитумные кровельные и гидроизоляционные материалы. Л.: Стройиздат, 1983. 134 с.
17. Рудин М.Г. Карманный справочник нефтепереработчика. Л.: Химия, 1989. 464 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боев Евгений Владимирович – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Общая химическая технология», филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Стерлитамак, Россия, 9196011116@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9255-6142>

Исламутдинова Айгуль Акрамовна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Стерлитамак, Россия, aygul_ru@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-2097>

Аминова Эльмира Курбангалиевна – канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Стерлитамак, Россия, k.elmira.k@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3105-3477>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 06.09.2021; одобрена после рецензирования 28.09.2021; принята к публикации 04.10.2021.

PUBLICATION ETHICS AND PREVENTION OF MALPRACTICE PUBLICATION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Complaints and appeals handling

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

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

Policy of disclosure and conflicts of interest /competing interests

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

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

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

The politics of the journal concerning data exchange and reproducibility

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

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

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

Ethical oversight of the published materials

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

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

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

Derivation and plagiarism

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

Intellectual property

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

The editors aside from using plagiarism detecting tools can also:

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

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

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

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

Preprint and postprint policy

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

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

On the procedure in case of abusive practice (infringement)

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

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

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

ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ ПРАКТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

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

Ответственность авторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность редакторов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

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

Ответственность рецензентов журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Рецензент оценивает свою занятость перед согласием на экспертизу рукописи и соглашается на рецензирование только при наличии достаточного времени на качественную работу.
2. Рецензент использует разработанную редакцией журнала форму, которую он получает вместе со статьей. Рецензент вправе дать более расширенную рецензию.
3. Рецензент предупреждает редакцию о наличии конфликта интересов (если он возник) до начала работы со статьей.
Об отсутствии конфликта интересов рецензент указывает в рецензии – «Рецензент заявляет об отсутствии конфликта интересов».
4. Рецензент не передает сведения о статье и данные, которые в ней содержатся, третьим лицам.
5. Рецензент не использует информацию, полученную из статьи, в личных и коммерческих целях.
6. Рецензент не делает выводов о качестве статьи на основе субъективных данных: личного отношения к автору, его пола, возраста, вероисповедания.
7. Рецензент использует только корректные выражения и объяснения в отношении статьи, не переходит на личности.

Ответственность издателя журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Издатель не только поддерживает научные коммуникации и инвестирует в данный процесс, но также несет ответственность за соблюдение всех современных рекомендаций в публикуемой работе.
2. Издатель не влияет на редакционную политику журнала.
3. Издатель оказывает юридическую поддержку редакции журнала при необходимости.
4. Издатель обеспечивает своевременность выхода очередных выпусков журнала.
5. Издатель публикует правки, пояснения и отзывает статьи, в которых были выявлены нарушения научной этики или критические ошибки.

Ответственность главного редактора журнала «Нанотехнологии в строительстве»

1. Главный редактор отвечает за принятие решения о том, какие из представленных в редакцию журнала работ следует опубликовать. Это решение всегда должно приниматься на основе проверки достоверности работы и ее важности для исследователей и читателей. Главный редактор может руководствоваться методическими рекомендациями, разработанными редколлекцией журнала, и такими юридическими требованиями как недопущение клеветы, нарушения авторского права и плагиата. Также при принятии решения по публикации главный редактор может советоваться с членами редсовета, редколлекции, рецензентами.
2. Главный редактор оценивает представленные работы по их интеллектуальному содержанию, невзирая на расу, пол, сексуальную ориентацию, религию, этническое происхождение, гражданство или политические взгляды автора.
3. Главный редактор, сотрудники редакции, члены редколлекции не должны раскрывать информацию о представленной рукописи кому-либо другому, за исключением автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, а также издателя.
4. Сведения, содержащиеся в представленной статье, не должны использоваться в какой-либо собственной работе главного редактора и членов редсовета и редколлекции без письменного разрешения автора. Конфиденциальная информация или идеи, полученные при рецензировании, должны храниться в секрете и не использоваться для получения личной выгоды.
5. Главному редактору следует отказаться от своего участия в рецензировании в случае, если присутствует конфликт интересов, проистекающий из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, компаний или учреждений, имеющих отношение к статье.
6. Главному редактору следует требовать от всех авторов журнала предоставлять сведения о соответствующих конкурирующих интересах и публиковать исправления, если конфликт интересов был разоблачен после публикации. В случае необходимости, может выполняться другое подходящее случаю действие, такое как публикация опровержения или выражения озабоченности.
7. Главному редактору следует принимать разумно быстрые меры при поступлении жалоб этического характера в отношении представленной рукописи или опубликованной статьи, имея контакт с редакцией, издателем.

Обработка жалоб и апелляций

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

Политика раскрытия и конфликты интересов/конкурирующих интересов

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

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

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

Политики журнала в отношении обмена данными и воспроизводимости

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

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

Этический надзор за опубликованными материалами

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

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

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

Заемствования и плагиат

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

Интеллектуальная собственность

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

Редакторы, кроме применения инструментов обнаружения плагиата, могут также:

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

Обсуждение работ, опубликованных в журнале. Исправления после публикаций

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

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

Политика размещения препринтов и постпринтов

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

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

О процедурах в случае злоупотреблений (нарушений)

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

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

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

AUTHOR GUIDELINES

Admission of articles

The authors submit to the editors:

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

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

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

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

Information about the conflict of interest

The article should exclude 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 article, review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.

The structure of the paper

IN ENGLISH

NAME OF THE SECTION (In English)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.) (In English)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Title (In English)

Authors' first name and last name (In English)

place of employment of each author, city, country (In English)

(name of institution (organization) at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.)

*Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID author:

first name and last name – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

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):

Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion... Conclusion...

Keywords: (In English)

Acknowledgments: (if available) (In English)

For citation: (In English)

Example.

For citation: Sinitsin D.A., Shayakhmetov U.Sh., Rakhimova O.N., Khalikov R.M., Nedoseko I.V. Nanostructured foam ceramics for building purposes: production technology and applications. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(4): 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

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

• **INTRODUCTION**

• **METHODS AND MATERIALS**

• **RESULTS**

• **DISCUSSION**

• **CONCLUSIONS**

References (In English) (Vancouver Style)

Information about the author (authors) (In English)

– first name, last name (full);

– academic degree;

– name of institution (organization) and its department at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.;

– address of the institution (organization), its department at which the author works or studies (city and country);

– authors' e-mail address;

– Open Researcher and Contributor ID (ORCID) (if available).

E-mail address is given without word “e-mail” and is not followed by dot. ORCID is given as an electronic address in Internet and is not followed by dot. Name of institution (organization), its address, e-mail address and ORCID of the author are separated with a comma.

The editors can give additional information about the author: position, honorary title, membership in organizations, etc.

Example.

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

Contribution of the authors (In English):

author's last name and initials; author's personal contribution in article writing is briefly described (concept, collection of materials, analytical work, article writing, scientific editing of the text, all authors made equal contribution to preparation of the article, etc.).

Example.

Marina S. Morozova – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Elena V. Bokova – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.

IN RUSSIAN

NAME OF THE SECTION (In Russian)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, article reviews, etc.) (In Russian)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Title (In Russian)

Authors' first name and last name (In Russian)

place of employment of each author, city, country (In Russian)

(name of institution (organization) at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.)

* Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID author:

first name and last name (In Russian) - <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

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):

Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion... Conclusion...

Keywords: (In Russian)

Acknowledgments: (if available) (In Russian)

For citation: (In Russian)

Example.

Для цитирования: Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 4. С. 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

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

• **INTRODUCTION**

• **METHODS AND MATERIALS**

• **RESULTS**

• **DISCUSSION**

• **CONCLUSIONS**

References (In Russian) (Vancouver Style)

Information about the author (authors) (In Russian)

– first name, last name (full);

– academic degree;

– name of institution (organization) and its department at which the author works or studies is given without legal form: Ltd, SOE, etc.;

– address of the institution (organization), its department at which the author works or studies (city and country);

– authors' e-mail address;

– Open Researcher and Contributor ID (ORCID) (if available).

E-mail address is given without word "e-mail" and is not followed by dot. ORCID is given as an electronic address in Internet and is not followed by dot. Name of institution (organization), its address, e-mail address and ORCID of the author are separated with a comma.

The editors can give additional information about the author: position, honorary title, membership in organizations, etc.

Example.

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

Contribution of the authors (In Russian):

author's last name and initials; author's personal contribution in article writing is briefly described (concept, collection of materials, analytical work, article writing, scientific editing of the text, all authors made equal contribution to preparation of the article, etc.).

Пример.

Морозова М.С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Бокова Е.В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

The authors declare no conflicts of interests. (In Russian)

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X. (In Russian)

Manuscript text

File format

The editors accept texts saved using Microsoft Word in .rtf format.

Text layout

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

Abbreviations

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

Tables and Figures

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

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

Footnotes

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

Citations and bibliography

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

References

The list of references includes sources used in the text.

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

Copyright Notice

Authors who publish in journal agree to the following:

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

Privacy Statement

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

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Прием статей

Авторы представляют в редакцию:

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

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

Представление статьи в журнал подразумевает, что:

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

Информация о конфликте интересов

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

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

Основные разделы журнала:

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

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

Журнал принимает к публикации: научные статьи, обзорные статьи, редакционные статьи, дискуссионные статьи, редакторские заметки, рецензии на книгу, рецензии на статью и т. п.

Структура статьи (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021)

НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

НАЗВАНИЕ РУБРИКИ ИЛИ РАЗДЕЛА ЖУРНАЛА (In English)

Original article (review article, editorial, discussion paper, individual bibliography, editorial notes, book reviews, paper reviews, etc.) (In English)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Заглавие статьи (In English)

Имя Отчество (при наличии) **Фамилия автора** (-ов) (In English)

обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (In English)

(наименование организации (учреждения), где работает или учится автор указывается без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т.п.)

* Corresponding author: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID автора (-ов):

Фамилия и инициалы – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Abstract: независимый от статьи источник информации, который позволяет ученым и 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, Discussion, Conclusion**), компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке):

Abstract: Introduction... Methods and Materials... Results... Discussion...Conclusion...

Keywords: (In English)

Acknowledgments: (при наличии) (In English)

For citation: (In English)

Пример.

For citation: Sinitsin D.A., Shayakhmetov U.Sh., Rakhimova O.N., Khalikov R.M., Nedoseko I.V. Nanostructured foam ceramics for building purposes. *Nanotechnologies in Construction*. 2021;13(4):213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© authors, 2021

Статья ((In English) объем – 3–6 тыс. слов):

• **INTRODUCTION**

• **METHODS AND MATERIALS**

• **RESULTS**

• **DISCUSSION**

• **CONCLUSION**

References (In English) (согласно Vancouver Style)

Information about the author (authors) (In English)

– имя, отчество, фамилия автора (полностью);

– ученое звание;

– ученая степень;

– наименование организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т.п.);

– адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город и страна);

- электронный адрес автора (e-mail);
- открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии).

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Наименование организации (учреждения), ее адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Редакция издания может расширить дополнительные сведения об авторе: указать его должность, почетные звания, членство в организациях и т. п.

Пример.

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

Contribution of the authors (In English):

фамилия и инициалы автора; в краткой форме описывается личный вклад автора в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста, все авторы сделали эквивалентный вклад (равный вклад) в подготовку публикации и т. д.).

Пример.

Marina S. Morozova – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Elena V. Bokova – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted XX.XX.202X; approved after reviewing XX.XX.202X; accepted for publication XX.XX.202X.

НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

НАЗВАНИЕ РУБРИКИ ИЛИ РАЗДЕЛА ЖУРНАЛА (на русском языке)

Научная статья (обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью и т. п.) (на русском языке)

УДК XXX

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-202X-x-x-x-x>

Заглавие статьи (на русском языке)

Имя Отчество (при наличии) **Фамилия автора** (-ов) (на русском языке)

обязательное указание места работы каждого автора, город, страна (на русском языке)

(наименование организации (учреждения), где работает или учится автор указывается без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.)

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: xxxxxxxxxx

ORCID автора (-ов):

Фамилия и инициалы – <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Аннотация (или **Резюме**): независимый от статьи источник информации, который позволяет ученым и 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):

Аннотация (или **Резюме**): **Введение... Методы и материалы... Результаты... Обсуждение... Заключение (выводы)...**

Ключевые слова: (на русском языке)

Благодарности: (при наличии) (на русском языке)

Для цитирования: (на русском языке)

Пример.

Для цитирования: Синицин Д.А., Шаяхметов У.Ш., Рахимова О.Н., Халиков Р.М., Недосеко И.В. Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 4. С. 213–221. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221>.

© авторы, 2021

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

- Введение
- Методы и материалы
- Результаты
- Обсуждение
- Заключение (выводы)

Список источников (на языке оригинала статьи – русском или английском)

Информация об авторе (-ах) (на русском языке)

- фамилия имя отчество автора (полностью);
- ученое звание;
- ученая степень;
- наименование организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.);
- адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город и страна);
- электронный адрес автора (e-mail); – открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии).

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Наименование организации (учреждения), ее адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Редакция издания может расширить дополнительные сведения об авторе: указать его должность, почетные звания, членство в организациях и т. п.

Пример.

Писаренко Жанна Викторовна – д-р экон. наук, доцент кафедры управления рисками и страхования экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург, Россия, z.pisarenko@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9082-2897>

Вклад авторов (на русском языке):

- фамилия инициалы автора;
- в краткой форме описывается личный вклад автора в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста, все авторы сделали эквивалентный вклад (равный вклад) в подготовку публикации и т. д.).

Пример.

Морозова М.С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Бокова Е.В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию XX.XX.202X; одобрена после рецензирования XX.XX.202X; принята к публикации XX.XX.202X.

Оформление текста рукописи

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в формате .rtf.

Оформление

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

Аббревиатуры

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

Таблицы и рисунки

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

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

Сноски

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

Оформление цитат и списка литературы

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

Список источников

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.

Оформление ссылок на источники, библиографических ссылок осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021.

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 договоренности, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.
3. Авторы имеют право размещать их работу в сети Интернет (например, в институтском хранилище или на персональном сайте) до и во время процесса рассмотрения ее данным журналом, так как это может привести к продуктивному обсуждению и большому количеству ссылок на данную работу.

Приватность

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