

e-ISSN: 2782-7445

p-ISSN: 2686-7818

# ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2024, №2 (25)

СЕТЕВОЕ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАНИЕ

*Expert:  
theory and practice*

12+

АНО «ИССТЭ»  
Тольятти/Tolyatti



**Учредитель**

Автономная некоммерческая организация "Институт судебной строительно-технической экспертизы" (АНО "ИССТЭ"),  
**соучредители:** ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»,  
Анпилов С.М., Матвеева М.М., Сорочайкин И.А.

Издаётся с 2019 г. Выходит 4 раза в год.  
**Префикс DOI: 10.51608/26867818**

Сетевое издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ЭЛ № **ФС 77-83498** от 24.06.2022 года.

Сетевое издание «Эксперт: теория и практика» включено в **категорию К2 перечня ВАК** Минобрнауки РФ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по научным специальностям:

- 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела (физико-математические науки с 22.03.2022 г., технические науки с 15.02.2023 г.);
- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки с 27.01.2021 г.);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки с 27.01.2021 г.);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки с 15.11.2021 г.).

Сетевое издание включено в базы данных: **РИНЦ eLIBRARY.ru, КиберЛенинка**



©2024 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0  
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Редакционный совет:**

*ПЕТРОВ Владислав Васильевич* – председатель редакционного совета, академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

*АКИМОВ Павел Алексеевич* – академик РААСН, профессор, доктор технических наук, ректор Московского государственного строительного университета

*АХМЕДОВА Елена Александровна* – академик РААСН, доктор архитектуры, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, заведующая кафедрой «Градостроительство», Самарский государственный технический университет

*БЕККЕР Александр Тевьевич* – академик РААСН, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, научный руководитель Политехнического института Дальневосточного федерального университета (Владивосток, Россия)

*БЕЛОСТОЦКИЙ Александр Михайлович* – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Московский государственный строительный университет

*ГАДЖИЕВ Мухлис Ахмед оглы* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», Азербайджанский университет архитектуры и строительства (Азербайджан, Баку)

*ГЕЛЬФОНД Анна Лазаревна* – академик РААСН, Заслуженный работник культуры РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор архитектуры, профессор, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

*ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович* – академик РААСН, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, Московский государственный строительный университет

*ИЛЬИЧЕВ Владислав Александрович* – академик РААСН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, профессор, вице-президент по направлению «Инновации», Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, РФ)

*ИСАКУЛОВ Байзак Разакович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн и строительства», «Баишев Университет» (Казахстан, Актобе)

*КАПРИЕЛОВ Семен Суренович* – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Российская академия Архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

*ЛЯХОВИЧ Леонид Семенович* – академик РААСН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет

*ЛЯЧЕНКОВ Николай Васильевич* – лауреат Государственной премии Совета министров СССР, Почетный гражданин г.о. Тольятти, действительный член Российской Академии естественных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, эксперт, АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

*МАИЛЯН Левон Рафаэлович* – академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Россия)

*РИМШИН Владимир Иванович* – член-корреспондент РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, руководитель Института развития города Университета Минстроя (НИИСФ РААСН) (Москва, Россия)

*СЕЛЯЕВ Владимир Павлович* – академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ и РМ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

*СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович* – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук, профессор кафедры менеджмента и цифрового маркетинга, Самарский университет государственного управления "Международный институт рынка" (Самара, Россия)

*ТРАВУШ Владимир Ильич* – академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный строитель РФ, Лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий, Лауреат Премии Совета Министров СССР, дважды Лауреат Премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор, вице-президент, Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

*ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич* – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, строительных материалов и конструкций, Тульский государственный университет

*ХАРИТОНЧИК Сергей Васильевич* – доктор технических наук, доцент, ректор Белорусского Национального технического университета (Республика Беларусь, Минск)

**Адрес редакции:** 445047 Самарская область, г. Тольятти,  
Южное шоссе, дом 35А, офис 401, e-mail: [expert763@mail.ru](mailto:expert763@mail.ru); <http://expert763.ru>

**Founder**

Independent Noncommercial Organization "Institution of Forensic Construction and Technological Expertise" (INO "IFCTE"),  
**co-founders:** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Anpilov S.M., Matveeva M.M., Sorochaikin I.A.

Published since 2019. Published 4 times a year.

**Prefix DOI: 10.51608/26867818**

The certificate of mass media registration ЭЛ № ФС 77-83498 issued by Federal Service of Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications.

The online edition is listed on **Higher Attestation Commission** within the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as one of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, in which the main results of the Ph.D. thesis in these scientific specialties are to be published:

- 1.1.8. Mechanics of a deformable solid body (physical and mathematical sciences since 22.03.2022; technical sciences since 15.02.2023);
- 2.1.1. Building structures, buildings and facilities (technical sciences since 27.01.2021);
- 2.1.5. Building materials and articles (technical sciences since 27.01.2021);
- 2.1.9. Structural mechanics (technical sciences since 15.11.2021).

The online edition is included **Russian Science Citation Index (RSCI), CyberLeninka**



©2024 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0  
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Editorial Board:**

*Vladilen V. PETROV* – Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

*Pavel A. AKIMOV* – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Rector of the Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

*Elena A. AKHMEDOVA* – Academician of RAACS, Dr. of Architecture, Prof., Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Department of Urban Planning, Samara State Technical University (Samara, Russia)

*Alexander T. BEKKER* – Academician of RAACS, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Scientific Director of the Polytechnic Institute of the Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russia)

*Alexander M. BELOSTOTSKIY* – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

*Mukhlis Ahmed oglu HAJIYEV* – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Building Structures", Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)

*Anna L. GELFOND* – Academician of the RAACS, Honored Worker of Culture of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Dr. of Architecture, Prof., Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (Nizhny Novgorod, Russia)

*Vladimir T. EROFEEV* – Academician of RAACS, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

*Vladislav A. ILYICHEV* – Academician of the RAACS, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Honorary Builder, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President in the direction of "Innovation", Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

*Bayzak R. ISAKULOV* – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Design and Construction, Baishev University (Aktobe, Kazakhstan)

*Semyon S. KAPRIELOV* – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

*Semyon S. KAPRIELOV* – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

*Leonid S. LYAKHOVICH* – Academician of the RAACS, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Honorary Builder, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering

*Nikolai V. LASCENCOV* – Laureate Of the state prize of the Council of Ministers of the USSR, Honorary citizen of Togliatti, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Corresponding Member of the International Engineering Academy, Dr. of Technical, Prof., expert, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

*Levon R. MAILYAN* – Academician of RAACS, Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Prof. of the Department of Roads, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

*Vladimir I. RIMSHIN* – Corresponding Member of RAACS, Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Institute of City Development of the University of Ministry (Moscow, Russia)

*Vladimir P. SELYAEV* – Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

*Andrey N. SOROCHAIKIN* – Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder, Professor of the Department of Management, Samara State University of Management «International Market Institute» (Samara, Russia)

*Vladimir I. TRAVUSH* – Academician of RAACS, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Builder of the Russian Federation, Laureate of the State Prize of the Russian Federation in the field of science and technology, Laureate of the Prize of the Council of Ministers of the USSR, twice Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Vice President, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

*Alexander A. TRESCHEV* – Corresponding Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Tula State University (Tula, Russia)

*Sergey V. KHARITONCHIK* – Dr. of Technical Sciences, Associate Professor, Rector of the Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk)

**Editorial office:** 445047, office 401, the house 35A, Southern Highway, Tolyatti, Samara region, e-mail: [expert763@mail.ru](mailto:expert763@mail.ru); <http://expert763.ru>

## **Редакционная коллегия:**

*МУРАШКИН Василий Геннадьевич* – главный редактор, кандидат технических наук, доцент, АНО "ИССТЭ" (Тольятти, Россия)

*АНПИЛОВ Сергей Михайлович* – заместитель главного редактора, Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт, профессор кафедры ЖБК, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН)

*СОРОЧАЙКИН Андрей Никонovich* – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук, профессор кафедры менеджмента и цифрового маркетинга, Самарский университет государственного управления "Международный институт рынка" (Самара, Россия)

*МАТВЕЕВА Мария Михайловна* – ответственный секретарь, кандидат педагогических наук, АНО "ИССТЭ" (Тольятти, Россия)

*БОСАКОВ Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор, кафедра "Математические методы в строительстве", Белорусский Национальный технический университет (Республика Беларусь, Минск)

*ВАВРЕНЮК Светлана Викторовна* – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России" (Владивосток, РФ)

*ВЕДЯКОВ Иван Иванович* – доктор технических наук, профессор, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, директор ЦНИИ строительных конструкций им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ „Строительство“» (Москва, Россия)

*ВЛАСОВ Виктор Алексеевич* – Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор физико-математических наук, профессор, советник РААСН, ректор, Томский государственный архитектурно-строительный университет

*ГАРИБОВ Рафаил Баширович* – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, АНО "ИССТЭ" (Тольятти, Россия)

*ГЛАГОЛЕВ Вадим Вадимович* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

*ГЛУХОВ Вячеслав Сергеевич* – Заслуженный строитель РФ, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*ГОГИН Александр Александрович* – доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры "Гражданское право и процесс", Тольяттинский государственный университет

*ГОРДОН Владимир Александрович* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

*ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительство", Тольяттинский государственный университет

*ЖАДАНОВ Виктор Иванович* – Заслуженный строитель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет

*КОРОБКО Андрей Викторович* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники, механики и робототехники, Орловский государственный университет им. Тургенева

*КОРОБКО Виктор Иванович* – доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные конструкции", Орловский государственный университет им. Тургенева

*КОРОЛЬ Елена Анатольевна* – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Почетный строитель, заведующий кафедрой организации и реновации производства Московского государственного строительного университета

*КОРОСТЕЛЕВ Александр Алексеевич* – доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры информатики, прикладной математики и методики их преподавания, Поволжский государственный университет сервиса (Тольятти, Россия)

*КОТЛОВ Виталий Геннадьевич* – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, проректор по воспитательной работе, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

*ЛЕСОВИК Руслан Валерьевич* – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, проректор по международной деятельности, Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова

*ЛЕОНОВИЧ Сергей Николаевич* – иностранный член РААСН, доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные материалы и технология строительства", декан строительного факультета, Белорусский Национальный технический университет (Республика Беларусь, Минск)

*МАРКИН Алексей Александрович* – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

*МЕДВЕДЕВ Валентин Григорьевич* – доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры Теории и истории государства и права, Тольяттинский государственный университет

*МИРСАЯПОВ Ильзар Талгатович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

*МИРСАЯПОВ Илишат Талгатович* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

*МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович* – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбовский государственный технический университет

*НИЗИНА Татьяна Анатольевна* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

*НИЧКАСОВ Анатолий Иванович* – иностранный член РААСН, Заслуженный строитель Республики Беларусь, Председатель Союза строителей Республики Беларусь (Республика Беларусь, Минск)

*ОВЧИННИКОВ Игорь Георгиевич* – Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство», Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. / Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*ПИЧУГИН Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Новосибирский государственный аграрный университет (Россия, Новосибирск)

*ПОТАПОВ Александр Николаевич* – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия)

*РАХИМОВ Равиль Зуфарович* – член-корреспондент РААСН, Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Почетный строитель, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, Лауреат Государственной премии по науке и технике РТ, доктор технических наук, профессор, советник ректора, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

*САЛИЕВА Роза Наильевна* – доктор юридических наук, профессор, заведующий лабораторией правовых проблем недропользования, экологии и топливно-энергетического комплекса, Академия наук Республики Татарстан

*СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович* – член-корреспондент РААСН, Заслуженный эколог РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Россия)

*СОКОЛОВ Борис Сергеевич* – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Лауреат госпремии РФ, научный консультант АО "Казанский Гипростройавиатранс"

*СОЛУЯНОВ Юрий Иванович* – доктор технических наук, профессор, Казанский государственный энергетический университет, президент Ассоциации «Росэлектромонтаж» (Москва)

*СУЛЕЙМАНОВ Альфред Мидхатович* – доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, Россия)

*ХОЗИН Вадим Григорьевич* – Заслуженный деятель науки РФ и РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология строительных материалов, изделий и конструкций", Казанский государственный архитектурно-строительный университет

*ХРИСТИЧ Дмитрий Викторович* – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

*ШЕСТАКОВ Александр Алексеевич* – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой "Философия и социально-гуманитарные науки", Самарский государственный технический университет

#### **Editorial Staff:**

*Vasily G. MURASHKIN* – Editor-in-Chief, Candidate of Technical, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

*Sergey M. ANPILOV* – Deputy Editor-in-Chief, Expert, Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof. of Novosibirsk State Architectural and Construction University

*Andrey N. SOROCHAIKIN* – Deputy Editor-in-Chief, Director INO "IFCTE", Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder (Tolyatti, Russia)

*Maria M. MATVEEVA* – Executive Secretary, Candidate of Pedagogical Sciences, ANO "IFCTE" (Togliatti, Russia)

*Sergey V. BOSAKOV* – Dr. of Technical Sciences, Prof., Department of Mathematical Methods in Construction, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk)

*Svetlana V. VAVRENYUK* – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical Sciences, Prof., CIRD of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Vladivostok, RF)

*Ivan I. VEDYAKOV* – Dr. of Technical, Prof., twice Laureate of the RF Government Prize in the Field of Science and Technology, Director of the Central Research Institute of Building Structures named after V.A. Kucherenko JSC "Research Center" Construction " (Moscow, Russia)

*Viktor A. VLASOV* – Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Advisor to the RAACS, Rector, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering

*Rafail B. GARIBOV* – Dr. of Technical, Prof., Advisor to RAACS, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

*Vadim V. GLAGOLEV* – Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Head of the Department of Computational Mechanics and Mathematics, Tula State University (Tula, Russia)

*Vyacheslav S. GLUKHOV* – Honored Builder of the Russian Federation, Candidate of Technical Sciences, Prof., Head of the Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering (Penza, Russia)

*Alexander A. GOGIN* – Dr. of Law, Associate Professor, Prof. of the Department of Civil Law and Procedure, Togliatti State University (Togliatti, Russia)

*Vladimir A. GORDON* – Advisor to the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Leading Researcher, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

*Valery A. ERY SHEV* – Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof. of the Department of Industrial and Civil Construction, Togliatti State University (Tolyatti, Russia)

*Victor I. ZHADANOV* – Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Orenburg state University (Orenburg, Russia)

*Andrey V. KOROBKO* – Dr. of Technical, Prof., Prof. of the Department of Mechatronics, Mechanics and Robotics, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

*Viktor I. KOROBKO* – Dr. of Technical, Prof., Department of Building Structures, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

*Elena A. KOROL* – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology for young scientists, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Builder, Head of the Department of Organization and Renovation of Production, Moscow State University Of Civil Engineering (National Research University)

*Alexander A. KOROSTELEV* – Dr. of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Prof. of the Department of Informatics, Applied Mathematics and Methods of Their Teaching, Volga Region State University of Service (Togliatti, Russia)

*Vitaly G. KOTLOV* – Dr. of Technical, Prof., Vice-rector for Educational Work, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

*Ruslan V. LESOVIK* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the RAACS, Vice-Rector for International Affairs, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

*Sergei N. LEONOVICH* – Foreign Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Department of Building Materials and Construction Technology, Dean of the Faculty of Civil Engineering, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk)

*Aleksey A. MARKIN* – Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Department of Computational Mechanics and Mathematics, Tula State University (Tula, Russia)

*Valentin Gr. MEDVEDEV* – Dr. of Law, Associate Professor, Prof. of the Department of Theory and History of State and Law, Togliatti State University (Togliatti, Russia)

*Ilizar T. MIRSAYAPOV* – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

*Ilshat T. MIRSAYAPOV* – Dr. of Technical, Associate Prof., Head of the Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

*Pavel V. MONASTYREV* – Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Architecture, Construction and Transport, Tambov State Technical University

*Tatyana A. NIZINA* – Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof., Prof. of the Department of Building Structures, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

*Anatoly I. NICHKASOV* – Foreign Member of the RAACS, Honored Builder of the Republic of Belarus, Chairman of the Union of Builders of the Republic of Belarus (Republic of Belarus, Minsk)

*Igor G. OVCHINNIKOV* – Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Construction, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

*Anatoly P. PICHUGIN* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Officer, Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

*Alexander N. POTAPOV* – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., South Ural State University (Chelyabinsk, Russia)

*Ravil Z. RAKHIMOV* – Corresponding Member of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Honorary Builder, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Laureate of the State Prize for Science and Technology of the Republic of Tatarstan, Dr. of Technical, Prof., adviser to the rector, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

*Roza N. SALIEVA* – Dr. of Law, Prof., Head of the Laboratory of Legal Problems of Subsoil Use, Ecology and Fuel and Energy Complex, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (Kazan, Russia)

*Yuri L. SKOLUBOVICH* – Corresponding Member of the RAACS, Honored Ecologist of the RF, Honorary Worker of Higher Professional Education of the RF, Dr. of Technical, Prof., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Novosibirsk, Russia)

*Boris S. SOKOLOV* – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof. (Kazan, Russia)

*Yury I. SOLUYANOV* – Dr. of Technical, Prof., Kazan State Power Engineering University, President of the Roselectromontazh Association (Moscow)

*Alfred M. SULEIMANOV* – Dr. of Technical, Prof., Vice-Rector for Science and Innovation, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

*Vadim G. KHOZIN* – Honored Worker of Science of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Technology of Building Materials, Products and Structures", Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

*Dmitry V. KHRISTICH* – Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Prof. of the Department of Computational Mechanics and Mathematics, State University (Tula, Russia)

*Alexander A. SHESTAKOV* – Dr. of Philosophy, Prof., Head of the Department of Philosophy and Social Sciences and Humanities, Samara State Technical University (Samara, Russia)

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### ПОЛУЧЕНИЕ ГРУНТОМАТЕРИАЛОВ УСТОЙЧИВОЙ СТРУКТУРЫ

ИГНАТОВА Ольга Арнольдовна, ШТЕЙНБЕК Алла Александровна..... 11

#### ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПОДВИЖНОГО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

ИЛЬИНА Лилия Владимировна, ЧУЛКОВА Ирина Львовна, ВИШНЯКОВ Никита Сергеевич.....18

#### ВЫБОР СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ОБОЛОЧКОЙ ЗОЛЬНЫХ ГРАНУЛ В ТЕХНОЛОГИИ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

ИСТЕРИН Егор Валерьевич, ФОМИНА Оксана Андреевна,  
СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич.....24

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСАДКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

КРАСОВА Анна Викторовна, СМИРНОВА Ольга Евгеньевна..... 31

#### ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕЛИГНИФИЦИРОВАННОЙ СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТАХ

ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ТКАЧЕНКО Сергей Евгеньевич,  
СМИРНОВА Ольга Евгеньевна, МИТИНА Лилия Анатольевна.....37

#### ВЛИЯНИЕ ОРГАНОВОЛОКОННОЙ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

ЧУЛКОВА Ирина Львовна, ИЛЬИНА Лилия Владимировна,  
СЕЛИВАНОВ Игорь Алексеевич.....44

### МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

#### ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ В НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОМ ТЕЛЕ.

##### Часть 3. Аналитические функции для параметров пластичности бетона

КРУГЛОВ Валерий Михайлович, БАКУШЕВ Сергей Васильевич, ШЕИН Александр Иванович,  
ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, АЛЬ ДУЛАЙМИ Салман Давуд Салман,  
ТОМИЛОВ Антон Алишерович..... 52

#### МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА.

##### Часть 1. Основные принципы построения теории разрушения бетона

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, СЕЛЯЕВ Павел Владимирович,  
БАБУШКИНА Дельмира Рафиковна..... 60

## РЕЦЕНЗИИ

<b>РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ РАХИМОВА Р.З., РАХИМОВОЙ Н.Р. «ИСТОРИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ»</b> АНПИЛОВ Сергей Михайлович.....	65
<b>РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ РАХИМОВА Р.З., РАХИМОВОЙ Н.Р., ОЖОВАНА М.И. «СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ИММОБИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ЗАЩИТЕ ОТ РАДИАЦИИ»</b> АНПИЛОВ Сергей Михайлович.....	67
<i>УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ.....</i>	<i>69</i>

# CONTENT

---

## TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

### OBTAINING SOIL MATERIALS OF A STABLE STRUCTURE

IGNATOVA Olga Arnoldovna, STEINBECK Alla Aleksandrovna..... 11

### IMPROVING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGHLY MOBILE HEAVY CONCRETE

ILINA Liliia Vladimirovna, CHULKOVA Irina Lvovna, VISHNYAKOV Nikita Sergeevich..... 18

### THE CHOICE OF A METHOD FOR OBTAINING COATED ASH GRANULES IN MATRIX COMPOSITES TECHNOLOGY

ISTERIN Egor Valerievich, FOMINA Oksana Andreevna,  
STOLBOUSHKIN Andrey Yurievich.....24

### RESEARCH OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE SEDIMENT OF SURFACE WASTEWATER

KRASOVA Anna Viktorovna, SMIRNOVA Olga Evgenievna.....31

### STUDY OF ADHESIVE PROPERTIES OF DELIGNIFIED LIGHT-TRANSMITTING WOOD IN BUILDING COMPOSITES

PICHUGIN Anatoly Petrovich, TKACHENKO Sergey Evgenievich,  
SMIRNOVA Olga Evgenievna, MITINA Lilia Anatolyevna.....37

### INFLUENCE OF AN ORGANOFILAMENT ADDITIVE ON THE STRUCTURE FORMATION OF CEMENT COMPOSITES

CHULKOVA Irina Lvovna, ILINA Liliia Vladimirovna, SELIVANOV Igor Alekseevich.....44

## MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

### RELATIONSHIPS BETWEEN STRESSES AND DEFORMATIONS IN A NON-LINEAR DEFORMABLE BODY.

#### PART 3. ANALYTICAL FUNCTIONS FOR PARAMETERS OF CONCRETE'S PLASTICITY

KRUGLOV Valery Mikhailovich, BAKUSHEV Sergey Vasilyevich, SHEIN Alexander Ivanovich,  
EROFEEV Vladimir Trofimovich, AL DULAIMI Salman Dawood Salman,  
TOMILOV Anton Alisherovich.....52

### THE MECHANICS OF CONCRETE DESTRUCTION.

#### PART 1. THE BASIC PRINCIPLES OF THE THEORY OF CONCRETE DESTRUCTION

SELYAEV Vladimir Pavlovich, SELYAEV Pavel Vladimirovich,  
BABUSHKINA Delmira Rafikovna.....60

## REVIEWS

**REVIEW OF THE MONOGRAPH BY RAKHIMOV R.Z., RAKHIMOVA N.R.  
"HISTORY OF COMPOSITE MINERAL BINDERS"**

ANPILOV Sergey Mikhailovich.....65

**REVIEW OF THE MONOGRAPH BY RAKHIMOV R.Z., RAKHIMOVA N.R., OZHOVAN M.I.  
"BUILDING MATERIALS IN IMMOBILIZATION OF RADIOACTIVE WASTE  
AND RADIATION PROTECTION"**

ANPILOV Sergey Mikhailovich..... 67

*CONDITIONS FOR POSTING MATERIALS*.....69

Научная статья  
УДК 691 : 666  
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура  
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия  
DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_11

### ПОЛУЧЕНИЕ ГРУНТОМАТЕРИАЛОВ УСТОЙЧИВОЙ СТРУКТУРЫ

© Авторы, 2024  
SPIN: 1295-1660

**ИГНАТОВА Ольга Арнольдовна**  
кандидат технических наук, доцент  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: oa\_ignatova@mail.ru)

SPIN: 4331-9119

**ШТЕЙНБЕК Алла Александровна**  
аспирант  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: voroncovskayalla@mail.ru)

**Аннотация.** Для устройства оснований автомобильных дорог традиционно применяют уплотненные каменные материалы, но во многих регионах России существует дефицит строительных материалов такого рода, что ведёт к удорожанию строительства и усложнению технологических процессов, из-за необходимости их транспортировки. В связи с этим, целесообразно применять местные глинистые грунты, широко распространённые на территории страны, которые при должной обработке обретут необходимые свойства, что позволит включить их в состав дорожной конструкции. Эффективным способом получения оснований с заданными характеристиками может служить модификация укрепленных грунтов стабилизаторами и добавками различной природы. Минеральные добавки помогают построению в грунтоматериале структурного каркаса, что способствует его способности воспринимать механические нагрузки и сохранять форму при их воздействии. В стабилизации основания могут помочь органические компоненты, которые обеспечивают устойчивость материала при взаимодействии с водой. В грунтах, в итоге применение данного комплекса добавок, происходит формирование совмещённых структур с взаимодополняющими свойствами. Модифицированные местные грунты могут быть применены в строительстве конструкций автомобильных дорог, что позволит в ходе производственного процесса получить выгоду из-за отсутствия необходимости в каменных материалах.

**Ключевые слова:** структура грунта; грунтоматериал; комплексное укрепление; стабилизация; минеральный комплекс; редицергируемый полимерный порошок, водостойкость; строительные материалы

**Для цитирования:** Получение грунтоматериалов устойчивой структуры / Игнатова О.А., Штейнбек А.А. // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 11-17. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_11

Original article

### OBTAINING SOIL MATERIALS OF A STABLE STRUCTURE

© The Author(s) 2024

**IGNATOVA Olga Arnoldovna**  
Candidate of Technical Science, Associate Professor  
*Novosibirsk State Architectural and Construction University*  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: oa\_ignatova@mail.ru)

**STEINBECK Alla Aleksandrovna**  
PhD Candidate  
*Novosibirsk State Architectural and Construction University*  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: voroncovskayalla@mail.ru)

**Abstract.** Compacted stone materials are traditionally used to construct the foundations of highways. However, there is a shortage of building materials of this kind in many regions of Russia, which leads to higher construction costs and more complex technological processes due to the need for their transportation. In this regard, it is advisable to use local clay soils, which are widespread throughout the country, which, if properly processed, will acquire the necessary properties, which allows them to be included in the road structure. An effective way to obtain foundations with specified characteristics is to modify reinforced soils with stabilizers and additives of various natures. Mineral additives help build a structural frame in the soil material, which contributes to its ability to withstand mechanical loads and maintain its shape when exposed to them. Organic components can help stabilize the base, ensuring the stability of the material when interacting with water. In soils, as a result of the use of this complex of additives, the formation of combined structures with complementary properties occurs. Modified local soils can be used in the construction of highway structures, which allows the production process to benefit from the absence of the need for stone materials.

**Keywords:** soil structure; soil material; comprehensive strengthening; stabilization; mineral complex; redispersible polymer powder; water resistant; building materials

**For citation:** Obtaining soil materials of a stable structure / O.A. Ignatova, A.A. Steinbeck // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 11-17. (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_11

### Введение

Обычно устройство оснований при возведении дорог предполагает применение каменных материалов в уплотненном состоянии. Но так сложилось, что преобладающая часть регионов России испытывает нехватку данных строительных материалов и для обеспечения строительства требуется их транспортировка из других административных центров. В таких обстоятельствах происходит удорожание и усложнение технологических процессов строительства. При этом не преобладающей территории РФ имеются колоссальные запасы глинистых грунтов. При наличии такого ресурса, будет рациональным использовать его в качестве строительного материала. Новосибирская область обладает таким материалом, который целесообразно использовать в строительстве автомобильных дороги, им являются глинистые грунты, представленные следующими разновидностями, распределенные в процентном соотношении следующим образом: суглинок – 92,5%, глина – 5,0%, супесь – 2,5%. Перечисленные ранее грунты отличаются высокой склонностью к пучинообразованию, существенно меняют и, в последствии, теряют структурную и прочностную устойчивость при увлажнении, замерзании и оттаивании.

Особенности внутреннего строения, зависящие от размера, формы и относительного расположения элементов составляющих грунт, также как и характеристики поверхности этих элементов, пустотность и связи между ними формируют полную грунтовую структуру.

Структурными элементами грунтов являются отдельные частицы и агрегаты, несвязные грунты характеризуются отдельными частицами, а связные – агрегатами.

Свойства грунтов определяются не только их гранулометрией и минералогическим составом, но и размерами агрегатов, их количеством, в которых грунтовые частицы связаны друг с другом разной степенью прочности. Структурный состав грунтов представлен микроагрегатами и макроагрегатами –

совокупность микроагрегатов с размерами вдвое их больше.

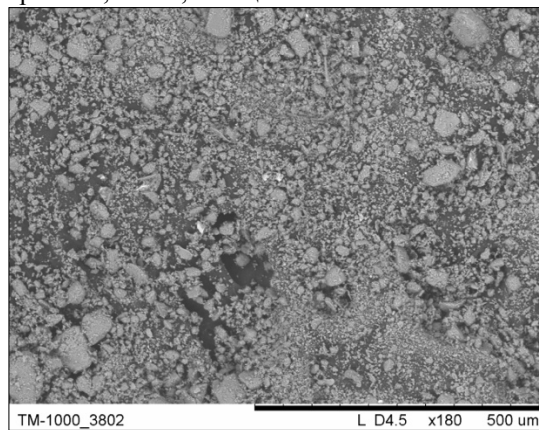
Размерный ряд и прочностные качества агрегатов изменчивы и имеют тенденцию в процессе размельчения, смешивания с водой и различными добавками органической и минеральной природы [1-5].

### Методика проведения испытаний

Исследованы грунты Новосибирской области, отобранные в районе р.п. Кольцово. В ходе испытаний установлены разновидности исследуемых грунтов и их основные свойства. Данные грунты представлены суглинками пылеватыми с характеристиками: средняя влажность 13,1%, влажность на границе текучести  $W_L$  – 31,9 %, влажности на границе раскатывания –  $W_p$  - 19,6%, показатель пластичности  $I_p$  – 12,3 %, рН водной вытяжки – 11, суглинки являются карбонатными.

Морфологические данные грунтов и их элементный состав были получены при помощи сканирующего электронного микроскопа HITACHI TM1000 и спектрометра TM-1000 EDS.

Морфология грунтов показана на рис. 1, гранулометрия в таблице 1. В соответствии с данными энергодисперсионного анализа в грунтах обнаружено присутствие магния, алюминия, кремния, калия, кальция и железа.



a)

Элемент	Масса, %
Mg	2,4
Al	14,6
Si	34,9
K	4,5
Ca	17,3
Fe	26,4

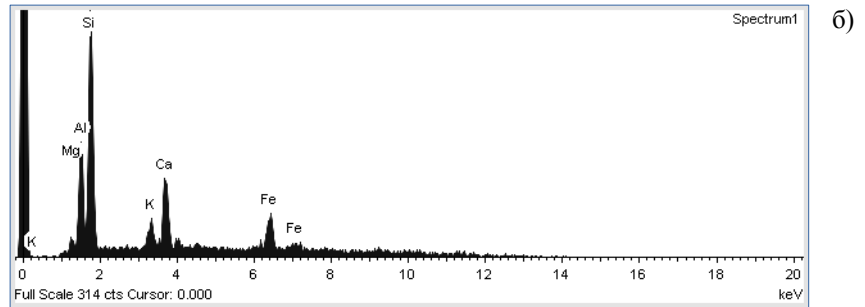


Рис.1. Морфология образца грунта (а) и данные элементного состава (б)

Таблица. 1. Гранулометрический состав грунта

Фракции, мм	0,005	0,01	0,05	0,1	0,25	0,5	1,0
Содержание, %	71,74	76,64	93,98	98,21	100,00	100,00	100,00

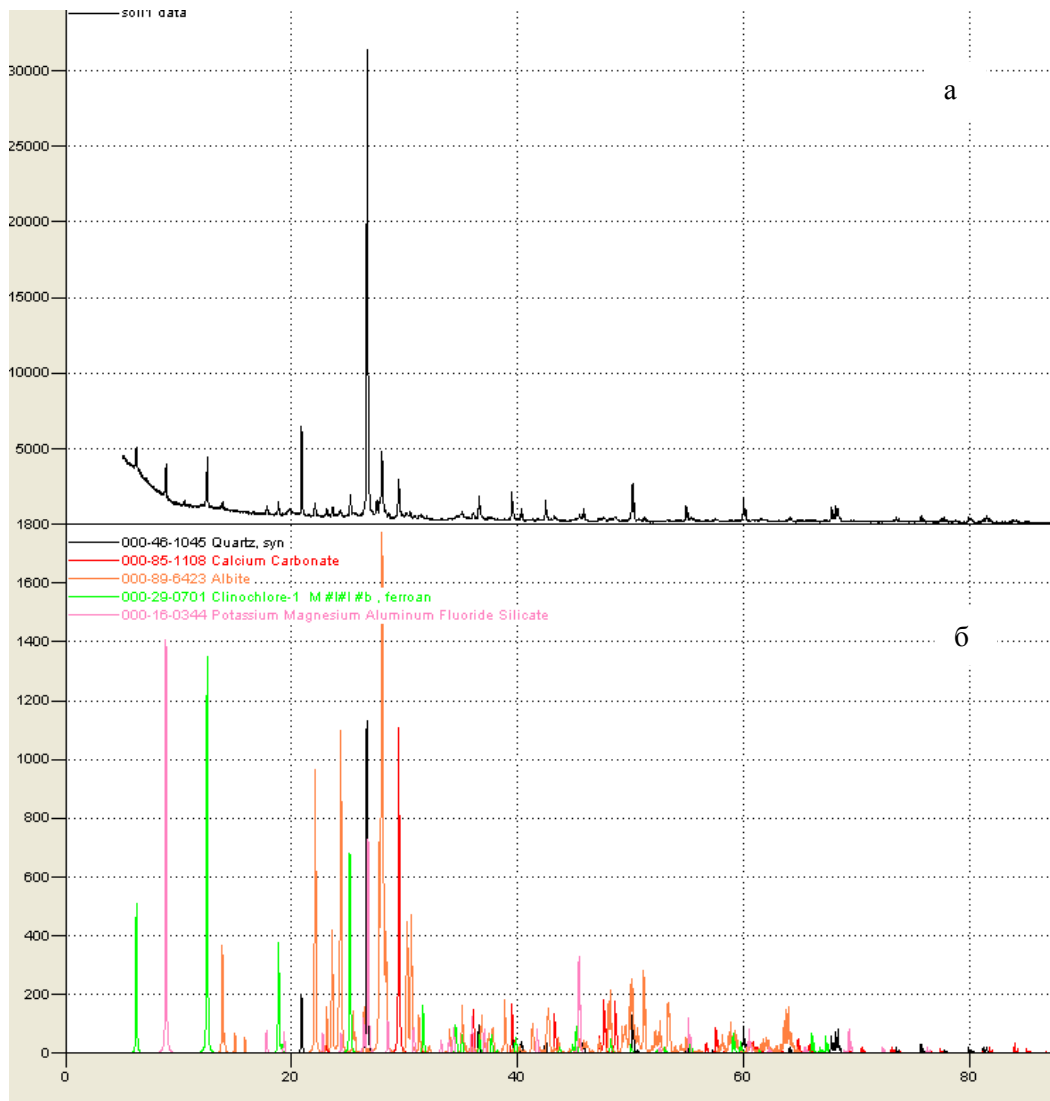


Рисунок 2. Фазовый состав грунта

а) – общий вид рентгенограммы образца; б) – присутствующие фазы из картотеки PDF-4.

Рентгенограммы глинистых грунтов, полученные на порошковом дифрактометре D8 Advance, приведены на рис.2.

Из анализа полученных данных можно предположить, что исследуемые грунты состоят из двух преобладающих фаз – кварц  $\text{SiO}_2$  и кальцит  $\text{CaCO}_3$ , и из трех дополнительных:

$(Mg,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$  (идентифицируются как смешаннослойные глинистые минералы),  $Na(AlSi_3O_8)$  и  $KMg_3(Si_3Al)O_{10}F_2$  – из группы полевых шпатов и слюд. Этот тип глинистых минералов, из-за

характерных особенностей химического взаимодействия между слоями, имеют разбухающую структуру (рис. 3).

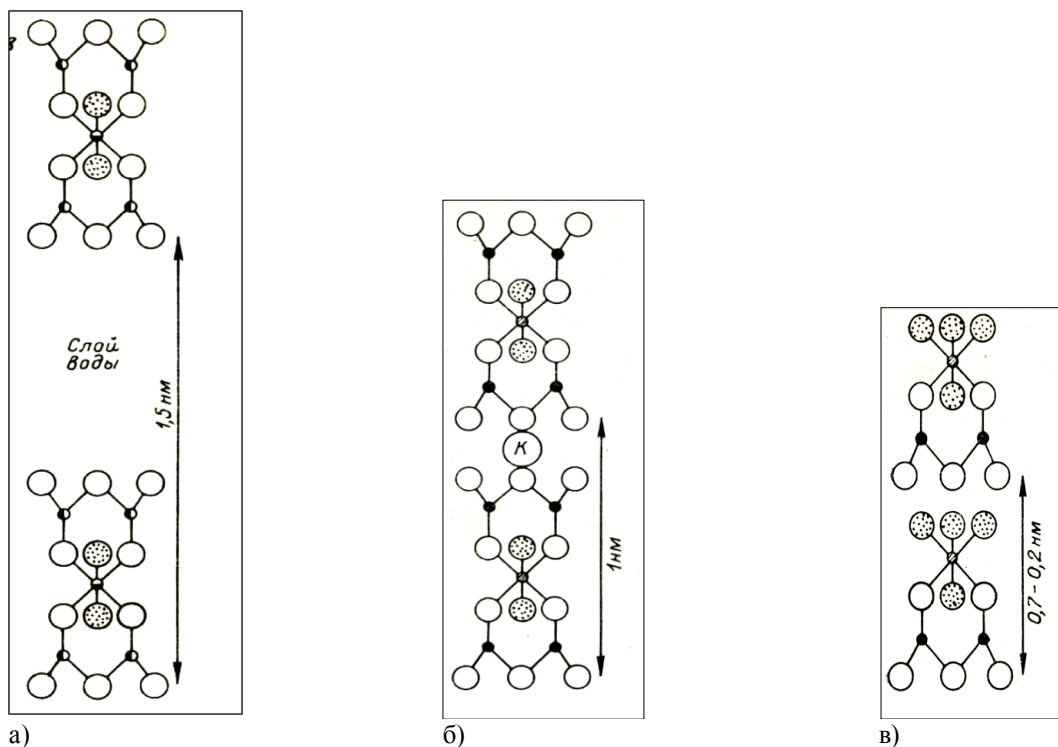


Рис.3. Строение глинистых минералов [6]  
а) монтмориллонит, б) гидрослюда, в) каолинит

Таким образом, рассматриваемые в работе грунты являются суглинистыми, которые наделены пучинистыми свойствами, что влечет потерю устойчивости в водонасыщенном состоянии, из-за чего для использования таких грунтов в дорожном строительстве необходима их модификация.

Цель работы – формирование в грунтах совмещённых структур с взаимодополняющими свойствами.

В наших исследованиях использовано укрепление грунтов двумя активными добавками (веществами) с различными свойствами (не антагонистическими) и структурами. К числу таких добавок можно отнести минерально-полимерную композицию на основе ретиспергируемых

полимерных порошков и активных минеральных добавок.

В работе использовали различные минеральные добавки: золы ТЭЦ (кислая и основная), микрокремнезем МК-85, трепел Потанинского месторождения в количестве от 7 до 20%. Лучшие результаты показали высококальциевые золы ТЭЦ-5 (г. Новосибирск) от сжигания бурых углей Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна. Химический состав используемого минерального компонента представлен в таблице 2. Зола имеет сложный минеральный состав – различные гидравлически активные минералы и оксиды:  $CaO$ ,  $\beta-C_2S$ ,  $CA$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ ,  $C_2F$ ,  $CaSO_4$ ,  $MgO$ ; и инертные компоненты  $SiO_2$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ .

Таблица 2 – Химический состав высококальциевой золы-уноса

П.П.П., %	Содержание оксидов в % мас. на прокаленное вещество										
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$Na_2O$	$K_2O$	$SO_3$	$P_2O_5$	$TiO_2$	$BaO$
0,52	49,47	7,36	7,51	27,53	4,52	0,23	0,28	1,24	0,03	0,44	0,38

Расчет модуля основности  $M_o$  и коэффициента качества  $K_k$ , исследуемой золы представлены следующими значениями:

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = 0,56$$

$$K_k = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + MnO} = 1,04$$

Зола обладает свойством самостоятельного твердения, но отличается весьма низкими показателями прочности, несмотря на это может создать необходимый кристаллический каркас и не допустить размокания грунта [7].

Полимерные добавки создают эластичную пленку вокруг частиц, придают материалам на минеральной основе ряд положительных свойств: увеличивается адгезия частиц, снижается хрупкость



затвердевшего грунта [8-15]. Для этой цели в нашей работе использованы редуцируемые полимерные порошки (РПП).

В качестве редуцируемой полимерной дисперсии применяли порошок REPOL S-35 компании «Кубань-Полимер». REPOL – это

восстанавливающий свойства исходной дисперсии в воде порошок на основе сополимера винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты, имеющий в качестве защитного коллоида поливиниловый спирт (табл.3).

Таблица 3 Технические характеристики REPOL S-35

Полимерная основа:	Сополимер винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты
Внешний вид	Белый сыпучий порошок
Остаточная влажность %, не более	2
Насыпная плотность, г/л	500 ± 100
Зольность %, не более	13
pH	7,0 – 9,0
Вязкость 50% восстановленной дисперсии, мПа·с	110-1100
Минимальная температура пленкообразования, °С	+ 5 °С
Дозировка, %	0,5 – 2,5

*Результаты экспериментального исследования*

При определении капиллярного всасывания установлено, что исходный грунт полностью теряет структурную прочность, при насыщении водой, переходит в состояние вязкого теста. Грунт с добавкой высококальциевой золы сохраняет структуру после насыщения водой. Грунт с комплексом (зола + РПП) после насыщения водой

сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку. Что касается водостойкости, здесь также наблюдается положительная тенденция к повышению коэффициента размягчения образцов с РПП по сравнению с результатами при использовании только золы (табл.4, рис.4.).

Таблица 4 Характеристика водостойкости грунтоматериалов

Состав	Кразм	Состояние образца после насыщения водой
Грунт 100%	0	полная потеря структурной прочности, переходит в состояние вязкого теста
Грунт + 5% ВКЗ	0,03	частичное сохранение структурной прочности, на грани перехода в состояние вязкого теста
Грунт + 10% ВКЗ	0,11	сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку
Грунт + 15% ВКЗ	0,19	сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку
Грунт + 20% ВКЗ	0,33	сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку
Грунт + 20% ВКЗ + РПП 1,4%	0,51	сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку

Важно отметить, что при испытании на капиллярное всасывание скорость поднятия воды снижается в 1,3-1,5 раза по сравнению с контрольным образцом.

Предположительно, что свободный оксид кальция, который входит в состав золы, в результате реакций с глинистыми минералами образует новые соединения, тем самым улучшает процессы структурообразования укрепленного грунта и создает кристаллический каркас. При испытании суглинистых грунтов укрепленных высококальциевой золой-уноса бурых углей, наблюдается хрупкое разрушение и некоторое снижение прочности грунтоматериала [16].

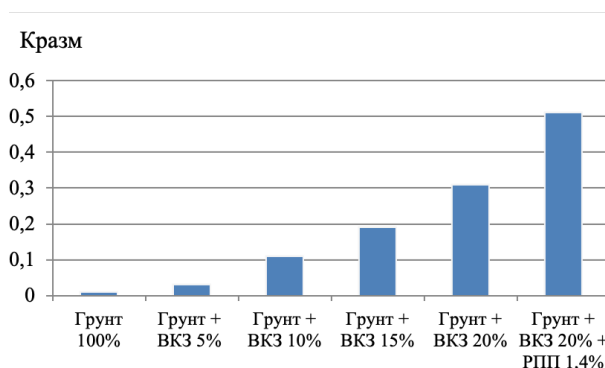


Рисунок 4. Значения коэффициента водостойкости грунтоматериалов



При использовании РПП, при смешении сухой смеси с водой полимерный порошок растворяется, переходя в эмульсию. По мере твердения золь полимерный агент эмульсии коагулирует, распределяясь плёнкой на поверхности твердых частиц. РПП не вступает в химическую связь с другими компонентами, а формирует гибкие связи, за счет чего придаёт грунтоминеральной смеси необходимую эластичность. Использование минеральных и органических компонентов указывает на специфичность влияния тех или иных веществ на свойства и структурные особенности укрепленных грунтов.

Все описанные выше процессы приводят к переходу коагуляционной структуры грунта в конденсационно-кристаллизационную структуру композита для дорожного строительства [17].

Из результатов исследования видно, что использование комплекса добавок – высококальциевой золь и РПП, даёт возможность использовать модифицированные суглинистые грунты для устройства конструктивных слоёв автомобильных дорог, обеспечивая их прочность и стойкость за счет более полного и эффективного влияния на свойства и структуру грунта.

#### Выводы.

1. Приведена модель механизма образования структуры композита в многокомпонентной системе, с учетом взаимодействия органо-минеральных комплексов со слоистыми алюмосиликатами. Структурообразование и формирование укрепленного комплексом добавок глинистого композита происходит в процессе консолидации органических и минеральных компонентов частицами глинистых минералов и с образованием дополнительных связей иной природы. В результате снижается восприимчивость грунта к влаге и ёмкость катионного поглощения, что положительно влияет на структурную и механическую прочностные искомым минералов.
2. Одновременное применение высококальциевых золь и порошковых полимерных дисперсий позволяет достичь стабильных физико-механических показателей в грунтах оснований, повысить их водостойкость и сделать пригодными для использования в дорожно-строительных работах. Новосибирской области.

#### Библиографический список

1. Кочеткова, Р. Г. Улучшение свойств глинистых грунтов стабилизаторами / Р. Г. Кочеткова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 3(38). – С. 35-36. – EDN PYFBDV.
2. Пичугин А.П., Гришина В.А., Язиков И.К. Деформационные процессы в укрепленных грунтах // Экология и новые технологии в строительном материаловедении. Международный сборник научных трудов. — Новосибирск, 2010. С. 74-75.
3. Шеина, Т. В. Грунтобетоны дорожного и аэродромного назначения / Т. В. Шеина, С. Ф. Коренькова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 2(85). – С. 22-24. – EDN VPWBHI.
4. Анненкова, А. В. Опыт улучшения физико-механических характеристик цементогрунта / А. В. Анненкова // Молодой ученый. – 2019. – № 22(260). – С. 91-92. – EDN YFQHJM.
5. Фурсов, С. Г. К вопросу расчета слоев дорожной одежды из укрепленного грунта на сопротивление разрушению от растяжения при изгибе / С.Г. Фурсов // Дороги России. – 2020. – № 1 (115). – С. 76-81.
6. W.E. Worrall Clays and Ceramic Raw Materials // Applied science publishers Ltd, 1975, p 236
7. Ignatova, O. A. Influence of high-calcium ash composition on the composite binders' properties / O. A. Ignatova, A. A. Dyatchina // Solid State Phenomena. – 2021. – Vol. 316. – P. 1019-1024. – EDN JWBSEL.
8. Подбор составов органо-минеральных смесей для устройства слоя основания дорожной одежды из материалов, обработанных цементом совместно с ПМК NICOFLOK / М. В. Катарасов, А. В. Кочетков, Д. И. Гофман, В. В. Куксгаузен // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 9. – DOI 10.15862/11SATS418. – EDN YURQXR.
9. Шабуров, С. С. Органо-минеральные смеси в основаниях и покрытиях автомобильных дорог в суровых климатических условиях / С. С. Шабуров, Р. П. Уласович // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2015. – № 2(13). – С. 112-118. – EDN TYWMKR.
10. Украинчук, А. Ю. Стабилизация грунтов методом использования гидрофобизирующих добавок для снижения пучинообразования грунтов / А. Ю. Украинчук // Молодой ученый. – 2012. – № 1-1. – С. 45-48. – EDN OQJRQJ.
11. Оценка эффективности применения стабилизаторов серии "Чим-сто" в грунтах, укрепленных неорганическими вяжущими / А. И. Траутвайн, А. Е. Акимов, Е. А. Яковлев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 12. – С. 6-13. – DOI 10.12737/article\_5a27cb7c733e24.73795944. – EDN YMYICU.
12. Ядыкина, В. В. Перспективы использования полимерных стабилизаторов при укреплении грунтов в дорожном строительстве / В. В. Ядыкина, А. М. Гридчин, Р. О. Антонова //



- Эффективные строительные композиты : Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича, Белгород, 02–03 апреля 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 767-770. – EDN UDAUUB.
13. Исследование свойств цементогрунта для дорожной одежды, модифицированного кремнийорганическим гидрофобизатором / Е. А. Вдовин, Н. В. Коновалов, Г. Р. Хилавиева, В. В. Захаров // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований : Материалы XVIII международной научно-практической конференции, North Charleston, USA, 11–12 февраля 2019 года. Том 2. – North Charleston, USA: LuluPress, 2019. – С. 54-56. – EDN VVPFWK.
  14. Мавлиев, Л. Ф. Цементогрунт с комплексной добавкой на основе кремнийорганических соединений для дорожного строительства : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мавлиев Ленар Фидасович, 2015. – 158 с. – EDN OFGLKG.
  15. Строкова, В. В. Микроструктурные особенности грунтобетонов в присутствии стабилизатора / В. В. Строкова, Т. В. Дмитриева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-2(50). – С. 174-178. – EDN RBVAFZ.
  16. Игнатова, О. А. Факторы формирования устойчивой структуры грунто материалов на основе комплекса добавок / О. А. Игнатова, А. А. Дятчина // Технологии и техника: пути инновационного развития : сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 09 июня 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 272-275. – EDN SKDJOO.
  17. Безрук, В. М. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В.М. Безрук. – М.: Транспорт, 1982 – 231 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.



Научная статья  
УДК 691.32 : 666.972  
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура  
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия  
DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_18

## ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПОДВИЖНОГО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

© Авторы, 2024  
SPIN: 4265-7935  
ORCID 0000-0002-8520-4453  
ResearcherID: AAB-3899-2021  
Scopus ID: 57076182100

**ИЛЬИНА Лилия Владимировна**  
доктор технических наук, профессор, директор Института  
цифровых  
инженерных технологий  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

SPIN: 6949-2994  
ORCID 0000-0003-4451-2297  
Scopus ID: 12645632400

**ЧУЛКОВА Ирина Львовна**  
доктор технических наук, профессор  
*Сибирский государственный автомобильно-дорожный  
университет*  
(Россия, Омск, e-mail: le5@inbox.ru)

SPIN: 6684-9618

**ВИШНЯКОВ Никита Сергеевич**  
аспирант  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: vischniackov.nikita@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность повышения прочности тяжелого бетона, полученного в результате затвердевания высокоподвижной смеси путем введения полиоксиэтиленовых производных поликарбонатовых кислот и полиэтиленгликоля. Введение 0,7 % пластификатора «Реламикс ПК» позволяет получить тяжелый бетон с прочностью на сжатие в возрасте 3 суток твердения в нормальных условиях 48,1 МПа, в стандартном возрасте - 72,2 МПа. Бетонная смесь при этом имеет водоцементное отношение равное 0,36; подвижность, измеряемая распылом нормального конуса, сразу после приготовления бетонной смеси составляет 68 см, через 60 минут приготовления замеса – 39 см. Для подбора состава бетонной смеси и технологических параметров использовался метод многофакторного планирования эксперимента. За отклики процесса приняты следующие показатели: прочность при сжатии в возрасте 1, 3 и 28 суток; распыл конуса через 0, 30 и 60 минут после приготовления замеса. В результате математической обработки эксперимента получены уравнения регрессии по исследуемым характеристикам. Авторами выявлено, что наибольшее влияние на упрочнение бетона оказывает расход цемента; на сохраняемость подвижности бетонной смеси – расход пластификатора.

**Ключевые слова:** портландцемент; бетонная смесь; тяжелый бетон; распыл конуса; прочность при сжатии; суперпластификатор; многофакторное планирование эксперимента; уравнения регрессии; строительные материалы

**Для цитирования:** Повышение физико-механических свойств высокоподвижного тяжелого бетона / Л.В. Ильина, И.Л. Чулкова, Н.С. Вишняков // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 18-23. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_18



Original article

## IMPROVING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGHLY MOBILE HEAVY CONCRETE

© The Author(s) 2024

**ILINA Liliia Vladimirovna**

doctor of technical sciences, professor  
*Novosibirsk State Architectural and Construction University*  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: [nsklika@mail.ru](mailto:nsklika@mail.ru))

**CHULKOVA Irina Lvovna**

doctor of technical sciences, professor  
*Siberian state automobile and highway University*  
(Russia, Omsk, e-mail: [le5@inbox.ru](mailto:le5@inbox.ru))

**VISHNYAKOV Nikita Sergeevich**

PhD Candidate  
*Novosibirsk State Architectural and Construction University*  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: [vischniackov.nikita@yandex.ru](mailto:vischniackov.nikita@yandex.ru))

**Abstract.** The article considers the possibility of increasing the strength of heavy concrete obtained as a result of solidification of a highly mobile mixture by introducing polyoxyethylene derivatives of polycarboxylic acids and polyethylene glycol. The introduction of 0.7% plasticizer “relamix pk” makes it possible to obtain heavy concrete with compressive strength at the age of 3 days of hardening under normal conditions of 48.1 mpa, at the standard age of 72.2 mpa. At the same time, the concrete mixture has a water-cement ratio equal to 0.36; the mobility, measured by the spreading of a normal cone, immediately after the preparation of the concrete mixture is 68 cm, after 60 minutes of mixing preparation — 39 cm. The method of multifactorial planning of the experiment was used to select the composition of the concrete mixture and technological parameters. The following indicators were taken as the process responses: compressive strength at the age of 1.3 and 28 days; cone spreading after 0.30 and 60 minutes after the preparation of the batch. As a result of mathematical processing of the experiment, regression equations for the studied characteristics were obtained. The authors revealed that cement consumption has the greatest effect on concrete hardening; plasticizer consumption has the greatest effect on the preservation of the mobility of the concrete mixture.

**Keywords:** portland cement; concrete mix; heavy concrete; cone spreading; compressive strength; superplasticizer; multifactorial experiment planning; regression equations; building materials

**For citation:** Improving the physical and mechanical properties of highly mobile heavy concrete / L.V. Ilyina, I.L. Chulkova, N.S. Vishnyakov // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 18-23 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_18

### *Введение*

Прочность цементных композитов зависит от: класса цемента и его количества, водоцементного отношения, количества загрязняющих примесей в заполнителе, однородности смеси и качества ее уплотнения, продолжительности и условий твердения бетона. Так же на данный показатель немаловажное влияние оказывает применение в бетонной смеси химических добавок.

Современные бетоны имеют высокие значения физико-технических свойств (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, долговечность). Высокопрочные бетоны обладают прочностью при сжатии 60-80 МПа, а ультравысокопрочные – свыше 80 МПа. Впервые бетоны с повышенными эксплуатационными характеристиками были применены в Канаде при

возведении моста в Шербруке [1]. В России основателями высокофункциональных бетонов являются М.Х. Ахвердов, В.В. Михайлов и К.Б. Михайлов, Ю.М. Баженов [2]. В 70-х годах XX века высокопрочные тяжелые бетоны, высокую прочность при сжатии которых 60-70 МПа получали за счет виброуплотнения с пригрузом, центрифугирования или вибропрессования, применяя, смеси с низким расходом воды, использовали довольно широко. При этом получить высокопрочные бетоны можно путем достижения однородной структуры и снижения общей пористости и размеров пор в цементном камне. Это возможно за счет:

- применения мелкозернистого заполнителя с крупностью не более 8 мм;



- оптимизации гранулометрического состава заполнителей;
- сокращения расхода воды;
- проведения тепловлажностной обработки (ТВО) бетона после предварительной выдержки, т.е. после схватывания цементного теста [1 - 5].

В настоящее время для производства бетонных работ возрождается ин-терес к применению высокоподвижных и литых смесей. Раньше высокая подвижность в таких бетонах достигалась введением большого количества воды и цемента, что приводило к высокой расслаиваемости бетонной смеси и, как следствие, низкому качеству готовой продукции [6]. На сегодняшний день взамен обычным бетонным смесям с марками по удобоукладываемости от П1 до П4 все чаще применяют высокоподвижные бетонные смеси марок Р4, Р5, Р6 (по расплыву конуса), подвижность которых достигается путем использования современных суперпластификаторов (СП). Химические добавки, в частности СП, позволяют получить бетонную смесь заданной подвижности, регулировать сроки схватывания цементного теста, а также получить бетон повышенной прочности. Для изготовления железобетонных изделий и конструкций с высокими эксплуатационными характеристиками применяют направленной

структурообразование бетона путем введения СП [7-9]. Такие модифицированные бетоны, по сравнению с традиционными, за счет повышения плотности у модифицированного цементного камня обладают высокими эксплуатационными характеристиками [10-12].

Введение в бетонную смесь органических веществ в виде супер- и гиперпластификаторов может менять степень гидратации клинкерных минералов [13]. Авторы [14] считают, что пластификаторы также оказывают влияние на морфологию гидросиликатов, что способствует повышению прочности.

*Материалы и методы исследований*

Для снижения водоцементного отношения в работе использовался суперпластификатор «Реламикс ПК» производства ООО «Полипласт».

В работе применялся быстротвердеющий портландцемент, изготовленный ООО «Сухоложскцемент» (Свердловская область, г. Сухой Лог»). Тип цемента – ЦЕМ I, класс по прочности – 42,5. Его основные характеристики приведены в таблице 1. Химический состав портландцементного клинкера указан в таблице 2, минералогический состав, мас. %: C<sub>3</sub>S – 62,5; C<sub>2</sub>S – 15,6; C<sub>3</sub>A – 6,4; C<sub>4</sub>AF – 10,3.

Таблица 1. Техническая характеристика портландцемента

№ п/п	Наименование показателя	Значение, регламентируемое ГОСТ	Фактическое значение
1	Площадь удельной поверхности, м <sup>2</sup> /кг	не регламентируется	406
2	Начало схватывания, мин	не ранее 60	133
3	Конец схватывания, мин	не регламентируется	219
4	Нормальная густота, %	не регламентируется	28,8
5	Прочность при изгибе: - в возрасте 2 суток, МПа - в возрасте 28 суток, МПа	не регламентируется	5,1
		не регламентируется	9,3
6	Прочность при сжатии: - в возрасте 2 суток, МПа - в возрасте 28 суток, МПа	не менее 20,0	27,3
		от 42,5 до 62,5	57,2

Таблица 2 - Химический состав портландцементного клинкера, %.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + 0,658K <sub>2</sub> O	Cl	Нерастворимый остаток
22,00	5,40	3,40	59,50	3,30	3,70	0,77	0,02	4,00

Щебень применялся известняковый фракции 5-10 мм Шипуновского месторождения (НСО, г. Искитим). Его истинная плотность составляла – 2690 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность – 1370 кг/м<sup>3</sup>.

В работе использовался песок кварцевый ООО «Старица» (НСО, п. Приобский). Его насыпная плотность составляла 1550 кг/м<sup>3</sup>, модуль крупности – 2,21.

Для испытания на прочность формовались образцы размером 100x100x100 мм, которые твердели в нормальных условиях в течение 1, 3 и 28 суток.

*Результаты и обсуждение*

Подбора состава смеси проводился методом многофакторного планирования эксперимента. Откликами являлись: прочность при сжатии в зависимости от продолжительности твердения (1, 3 и 28 суток); подвижность смеси сразу после ее приготовления и через 0,5 и 1,0 час после приготовления замеса.

Факторами варьирования при этом являлись:

- x<sub>1</sub> – количество цемента,
- x<sub>2</sub> – количество пластификатора,
- x<sub>3</sub> – соотношение между мелким и крупным заполнителями (П/Щ).

Эксперимент проводился по плану, указанному в таблице 3.



Таблица 3. Значения факторов варьирования

Наименование фактора	Условное обозначение	Уровень варьирования факторов		
		-1	0	+1
Количество цемента, кг	X <sub>1</sub>	450	460	470
Количество пластификатора, % от цемента	X <sub>2</sub>	0,6	0,7	0,8
Соотношение между мелким и крупным заполнителями (П/Щ)	X <sub>3</sub>	0,8	0,85	0,9

Исследованные составы приведены в таблице 4, прочностные показатели бетона - в таблице 4.

Таблица 4. Составы смесей

Наименование факторов	Номер состава									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество цемента, кг	450	450	450	460	460	460	470	470	470	460
Количество пластификатора, % от цемента	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7
Соотношение между мелким и крупным заполнителями (П/Щ)	0,80	0,85	0,90	0,85	0,90	0,8	0,90	0,8	0,85	0,85

Таблица 5. Прочностные показатели исследуемого бетона

№ п/п	Количество воды, л	Прочность при сжатии, МПа, тяжелого бетона, твердевшего в нормальных условиях в течение		
		1 сутки	3 суток	28 суток
1	181	30,6	45,9	54,8
2	177	28,9	46,1	57,2
3	157	38,5	53,2	61,6
4	169	39,2	50,5	60,3
5	160	46,5	55,3	63,2
6	160	43,5	60,8	66,0
7	177	42,8	58,8	63,2
8	162	37,3	46,1	58,9
9	158	48,5	61,1	70,2
10	167	48,1	58,3	72,2

В результате математической обработки эксперимента получены уравнения регрессии:

- прочность бетона, твердевшего одни сутки, МПа;  
 $R_{сж} = 40,98 + 3,73x_1 + 2,32x_2 + 0,27x_3 - 0,24x_1x_2 - 1,16x_1x_3 - 2,24x_2x_3 - 12,43x_1x_2x_3$
- прочность бетона через трое суток твердения, МПа;  
 $R_{сж} = 54,2 + 3,42x_1 + 2,21x_2 + 0,5x_3 - 0,56x_1x_2 - 0,51x_1x_3 - 2,28x_2x_3 - 17,54x_1x_2x_3$
- прочность бетона через двадцать восемь суток, МПа.  
 $R_{сж} = 62,82 + 3,19x_1 + 2,17x_2 - 1,39x_3 - 1,42x_1x_3 - 19,96x_1x_2x_3$
- начальная подвижность бетонной смеси, см;  
 $PK_0 = 55,5 + 0,44x_1 + 1,61x_2 + 2,72x_3 - 2,89x_1x_2 + 0,56x_1x_3 - 2,00x_2x_3 - 19,72x_1x_2x_3$
- подвижность бетонной смеси через 30 минут после замеса, см;  
 $PK_{30} = 47,89 - 1,28x_1 + 1,50x_2 + 4,44x_3 - 5,67x_1x_2 + 0,56x_1x_3 - 2,44x_2x_3 - 18,33x_1x_2x_3$
- подвижность бетонной смеси через 60 минут после замеса, см;  
 $PK_{60} = 37,22 - 0,33x_1 + 1,61x_2 + 3,67x_3 - 6,17x_1x_2 + 0,39x_1x_3 - 3,11x_2x_3 - 15,06x_1x_2x_3$
- расход воды, л.  
 $V = 166,78 - 2,00x_1 - 5,78x_2 - 1,00x_3 + 0,56x_1x_2 + 4,33x_1x_3 - 57,22x_1x_2x_3$

Анализируя экспериментальные данные можно констатировать, что введение добавки «Реламик ПК» в количестве 0,6 – 0,8 % от массы

портландцемента допускает уменьшить водоцементное отношение до 0,34. Что в свою очередь приводит к повышению прочности



цементного композита во все исследуемые сроки твердения. У бетона, содержащего 460 кг портландцемента, 975 кг щебня, 830 кг песка и 0,7 % пластификатора зафиксирована прочность при сжатии 72,2 МПа. При этом наибольшее влияние на упрочнение бетона оказывает расход цемента; на неизменность подвижности смеси – количество пластификатора.

### Заключение

Таким образом, констатирована возможность получения тяжелого бетона, обладающего прочностью при твердении в нормальных условиях в течение 3 суток 48,1 МПа, в течение 28 суток - 72,2 МПа путем добавления 0,7 % суперпластификатора на основе полиоксиэтиленовых производных поликарбонновых кислот и полиэтиленгликоля «Реламикс ПК». Введение исследуемого пластификатора позволило снизить водоцементное отношение до 0,36. При этом получена высокоподвижная бетонная смесь, имеющая расплыв конуса сразу после ее приготовления - 68 см, через 1 час после приготовления замеса – 39 см.

### Библиографический список

1. Шнайдер, У. Свойства ультравысокопрочного бетона (УВПБ). Часть 1 / У. Шнайдер, И. Хорват // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – № 12(107). – С. 36-38. – EDN ICEJVZ.
2. Баженов, Ю. М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю. М. Баженов, Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 6-14. – EDN RXEUNX.
3. Богданов, Р. Р. Оптимизация фракционного состава смеси заполнителей для самоуплотняющегося бетона / Р. Р. Богданов, Р. А. Ибрагимов, Е. В. Королев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 4(50). – С. 327-335. – EDN BQAEMW.
4. Ильина Л.В., Хакимуллина С.А., Кадоркин Д.А. Влияние дисперсных минеральных добавок на прочность мелкозернистого бетона // Фундаментальные исследования. 2017. № 4-1. С. 34-38.
5. Ильина, Л. В. Влияние количества загрязняющих примесей в песке на прочность раствора / Л. В. Ильина, А. К. Туляганов, М. В. Видаев // Качество. Технологии. Инновации : Материалы III Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 18–20 февраля 2020 года / Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ООО Лакокрасочный завод «Колорит». – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2020. – С. 3-6. – EDN OPROHC.
6. Баженова, С. И. Высококачественные бетоны на наномодификаторах техногенного происхождения / С. И. Баженова // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3-2. – С. 172. – EDN OWCDNZ.
7. Батраков, В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В. Г. Батраков // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 1-8. – EDN HVWVUN.
8. Рауткин, А. В. Выбор химических модификаторов для обеспечения растекаемости самоуплотняющихся бетонных смесей / А. В. Рауткин, Л. И. Касторных // Молодой исследователь Дона. – 2017. – № 4(7). – С. 118-126. – EDN ZIWGAD.
9. Касторных, Л. И. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах / Л. И. Касторных, В. П. Скиба, А. Е. Елсуфьев // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3(46). – С. 111. – EDN ZWZFOD.
10. Морозов, Н. М. Роль суперпластифицирующих добавок в формировании прочности самоуплотняющегося бетона / Н. М. Морозов, А. Ф. Галеев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4(38). – С. 376-381. – EDN USOSGV.
11. Сорокина, Н. С. Влияние суперпластификаторов на свойства бетонной смеси / Н. С. Сорокина, А. Н. Пахомов, Р. Ю. Банин // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 6-1. – С. 142-145. – EDN SJDDRJ.
12. Изотов, В. С. Исследование влияния добавок гиперпластификаторов на физико-механические свойства тяжелого бетона / В. С. Изотов, Р. А. Ибрагимов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 2(12). – С. 242-245. – EDN KZHGVF.
13. Бутт Ю.М., Колбасов В.М. Влияние состава цемента и условий твердения на формирование структуры цементного камня // VI Международный конгресс по химии цемента. – М: Стройиздат, 1976. Т. 2. Кн. 1. С. 281-283.
14. Добавки в бетон : Справ. пособие / [В. С. Рамачандран и др.]; Под ред. В. С. Рамачандрана; Перевод с англ. Т. И. Розенберг, С. А. Болдырева; Под ред. А. С. Болдырева, В. Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 570. ISBN 5-274-00208-0 (В пер.)



Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.



Научная статья  
УДК 666.3.022  
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура  
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия  
DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_24

## ВЫБОР СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ОБОЛОЧКОЙ ЗОЛЬНЫХ ГРАНУЛ В ТЕХНОЛОГИИ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

© Авторы 2024  
SPIN: 2371-3750

**ИСТЕРИН Егор Валерьевич**  
аспирант  
*Сибирский государственный индустриальный университет*  
(Россия, Новокузнецк, e-mail: eisterin@gmail.com)

SPIN: 1395-0096  
ORCID 0000-0003-0219-3857  
Scopus ID: 57200292129  
ResearcherID: N -7088-2016

**ФОМИНА Оксана Андреевна**  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН*  
(Россия, Москва, e-mail: soa2@mail.ru)

SPIN: 7487-7522  
ORCID 0000-0002-5747-9070  
ResearcherID: H-4667-2016  
ScopusID: 55985081000

**СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич**  
доктор технических наук, профессор кафедры инженерных  
конструкций, строительных технологий и материалов  
*Сибирский государственный индустриальный университет*  
(Россия, Новокузнецк, e-mail: stanyr@list.ru)

**Аннотация.** Обоснована актуальность расширения сырьевой базы для производства строительных материалов за счет использования техногенного сырья, в связи с сокращением запасов природных ископаемых и интенсивным накоплением минеральных промышленных отходов. Приведены химический, гранулометрический, минеральный составы и технологические свойства сырьевых материалов, применявшихся при проведении экспериментальных исследований. Разработан способ получения покрытых оболочкой зольных гранул для формирования матричной структуры керамических материалов на основе золы-уноса.

**Ключевые слова:** техногенные отходы; зольные гранулы; прессование; обжиг; керамические материалы с матричной структурой; строительные материалы

**Для цитирования:** Выбор способа получения покрытых оболочкой зольных гранул в технологии матричных композитов / Е.В. Истерин, О.А. Фомина, А.Ю. Столбоушкин // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 24-30. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_24

Original article

## THE CHOICE OF A METHOD FOR OBTAINING COATED ASH GRANULES IN MATRIX COMPOSITES TECHNOLOGY

© The Author(s) 2024

**ISTERIN Egor Valerievich**  
PhD Candidate  
*Siberian State Industrial University*  
(Russia, Novokuznetsk, e-mail: eisterin@gmail.com)

**FOMINA Oksana Andreevna**  
Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow  
*Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov*  
*of the Russian Academy of Sciences*  
(Russia, Moscow, e-mail: soa2@mail.ru)



**STOLBOUSHKIN Andrey Yurievich**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department  
*Siberian State Industrial University*  
(Russia, Novokuznetsk, e-mail: stanyr@list.ru)

**Abstract.** The significance of enhancing the raw material base for the production of building materials by utilizing technogenic raw materials is substantiated by the diminution of natural resource reserves and the extensive accumulation of mineral industrial waste. The chemical, granulometric, mineral compositions and technological properties of the raw materials used in the experimental studies are provided. A method has been devised for the production of coated ash granules, resulting in the formation of a matrix structure of ceramic materials based on fly ash.

**Keywords:** technogenic waste, ash granules, pressing, firing, ceramic materials with a matrix structure; building materials

**For citation:** The choice of a method for obtaining coated ash granules in matrix composites technology / E.V. Isterin, O.A. Fomina, A.Yu. Stolboushkin // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 24-30 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_24

#### *Введение*

Современные темпы развития строительной индустрии обозначили одну из острейших проблем отрасли, связанную с дефицитом высококачественного природного сырья. При этом ежегодное накопление минеральных промышленных отходов постоянно возрастает, а к 2050 году их объем в мировом масштабе составит до 3,4 млрд тонн [1].

Перспективным видом техногенного алюмосиликатного сырья являются золы тепловых электростанций (ТЭС). В Российской Федерации накоплено огромное количество таких отходов, размещенных на территории площадью более 22 000 га [2]. Несмотря на большой опыт применения золошлаковой смеси в строительной индустрии, объем потребления золы остается незначительным (на уровне 5-8 % выхода) [3-5]. Чаще всего отходы теплоэнергетических компаний утилизируются путем выброса или сжигания, что приводит к загрязнению окружающей среды и утрате важных ресурсов [6]. Поэтому актуальными являются разработка новых и совершенствование существующих способов ее переработки в технологии строительных материалов.

В свете указанных причин в производство керамического кирпича вовлекается все больше низкосортного сырья и техногенных отходов, одними из которых и являются золы ТЭС. Исследование свойств золы и возможности ее использования в производстве керамических материалов изучалось учеными на протяжении многих лет [7-10]. К сожалению, использование этих отходов без корректирующих добавок не позволяет получать изделия с требуемыми характеристиками. Поэтому перспективным решением указанной проблемы может стать использование предварительно обработанных алюмосиликатных отходов тепловых электростанций [11-15].

В результате исследований выявлено, что характеристики зол по химическому и granulometricкому составу могут существенно различаться даже в условиях одного золоотвала. Изготовление качественного кирпича из такого «нестабильного сырья» весьма проблематично, поэтому выбор способа массоподготовки с использованием усреднения и агрегирования малосвязанных зольных отходов и разработка новых технологий получения покрытых оболочкой зольных гранул являются перспективным направлением развития стеновых керамических материалов.

*Цель настоящей работы* заключалась в исследовании сырьевых материалов и выборе способа получения покрытых оболочкой зольных гранул для получения керамических матричных композитов.

#### *Методы и объекты исследования*

В качестве сырьевых материалов исследовались зола-уноса Западно-Сибирской ТЭС (Новокузнецк, Кемеровская область – Кузбасс) и природное глинистое сырье (абагурский суглинок, Новокузнецкий район).

В качестве связующего компонента для гранулирования техногенного сырья использовался поливиниловый спирт (ПВС) марки 16/1 по ГОСТ 10779-78. Поливиниловый спирт, представляет собой твердое, бесцветное, прозрачное, нетоксичное вещество без запаха (рис. 1, а).

Для применения ПВС при грануляции золы порошок смешивался с обессоленной водой в соотношении 1:10. Растворение осуществлялось при периодическом осторожном перемешивании вручную на кипящей водяной бане при температуре 70-75 °С или при непрерывном механическом перемешивании, до полного растворения в течение 2-4 часов (рис. 1, б).

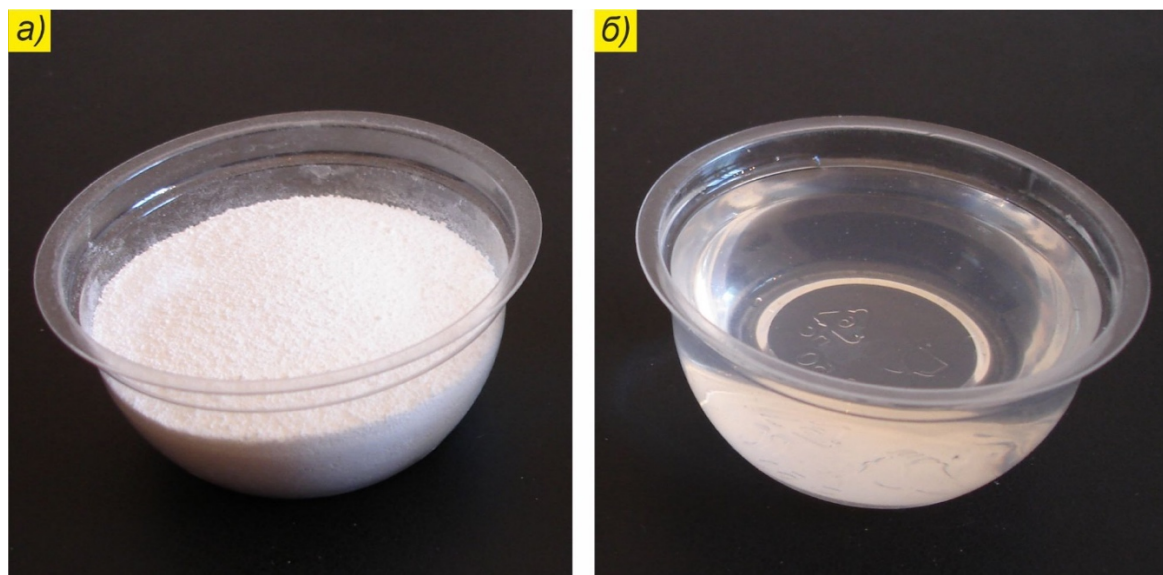


Рис. 1. Внешний вид поливинилового спирта марки 16/1:  
а – поливиниловый спирт в сухом, нерастворенном состоянии;  
б – приготовленный раствор поливинилового спирта

Исследование состава и свойств сырьевых компонентов проводилось на базе лаборатории строительных материалов и центра коллективного пользования «Материаловедение» Сибирского государственного индустриального университета (Новокузнецк). Использовались стандартные

ГОСТовские методики исследования глинистого сырья и современные прецизионные методы анализа.

Химический состав определялся методом рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного анализа на спектрометре Shimadzu XRF-1800. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав сырьевых материалов

Вид сырья	Массовая доля компонентов, %										
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$Na_2O$	$K_2O$	$TiO_2$	$MnO$	ппп	прим
Абагурский суглинок	64,84	13,02	12,14	3,52	2,72	1,06	1,57	1,39	0,12	0	6,14
Зола-уноса	58,29	18,85	4,90	7,43	2,22	0,90	2,59	1,00	0,04	-	3,78

По суммарному содержанию ( $Fe_2O_3+TiO_2$ ) суглинок относится к сырью с высоким содержанием красящих оксидов, по количеству глинозема принадлежит к группе полукислого сырья.

Зола-уноса по содержанию щелочноземельных оксидов является низкокальциевым, по количеству  $Al_2O_3$  – кислым сырьем. Содержание органической части в золе не превышает 4 % по массе.

Дисперсный состав сырьевых материалов исследовался методом лазерного излучения суспензий на лазерном анализаторе SALD-2101 Laser Diffraction Particle Size Analyzer (фирма Shimadzu,

Япония). Результаты определения гранулометрического состава приведены в табл. 2.

По содержанию тонкодисперсных фракций в соответствии с классификацией по ГОСТ 9169-75 оба вида сырьевых материалов относятся к группе грубодисперсного сырья.

Минеральный состав сырьевых материалов определялся комплексом методов, включая рентгеновскую дифрактометрию, оптическую микроскопию и дифференциально-термический анализ. Результаты определения минеральных фаз приведены в табл. 3.

Таблица 2 - Гранулометрический состав сырьевых материалов

Вид сырья	Содержание фракций в %, размер частиц в мм					Классификация по ГОСТ 9169-75
	>0,06	0,06-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	
Абагурский суглинок	8,54	49,77	17,88	18,96	4,85	Грубодисперсные
Зола-уноса	9,02	35,99	20,17	28,3	6,52	Грубодисперсные

Таблица 3 - Минеральный состав сырьевых материалов

Преобладающие минералы	Зарегистрированные межплоскостные расстояния, нм	
	Абагурский суглинок	Зола-уноса
Кварц $SiO_2$	0,425; 0,334; 0,212; 0,197; 0,166; 0,165; 0,153; 0,141; 0,138	0,426; 0,425; 0,334; 0,228; 0,213; 0,197; 0,169; 0,136
Альбит $NaO \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$	0,638; 0,402; 0,367; 0,319	0,746; 0,567; 0,545; 0,453
Муллит $Al_6Si_2O_{13}$	-	0,538; 0,339; 0,336; 0,269; 0,254
Хлорит $(Mg, Fe)_3(Si, Al)4O_{10}(OH)_2 \times$ $(Mg, Fe)_3(OH)_6$	0,710; 0,353; 0,284; 0,259; 0,200; 0,142	-
Кальцит $CaCO_3$	0,303; 0,248; 0,228; 0,209; 0,191; 0,187; 0,160	0,338; 0,275; 0,243
Гидромусковит $K_1Al_2\{Si, Al\}_4O_{10}\{$ $\{OH\}_2 \times nH_2O$	0,498; 0,449; 0,385; 0,334; 0,286; 0,257; 0,239; 0,212; 0,149	-
Монтмориллонит $Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times nH_2O$	0,445; 0,257; 0,170; 0,150	-

По результатам дифрактограммы глинистого сырья отмечаются интенсивные линии кварца, гидромусковита, кальцита, монтмориллонита и полевых шпатов (анортита, ортоклаза и альбита). В небольших количествах присутствуют каолинит и полиморфные модификации диоксида титана (предположительно рутил и анатаз), что

подтверждается данными рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного анализа. Среди примесей вероятно наличие пирита, амфибола, микроклина и сидерита. У золы-уноса отмечаются интенсивные линии кварца, альбита, кальцита, и небольшое количество полевых шпатов (анортита и ортоклаза).

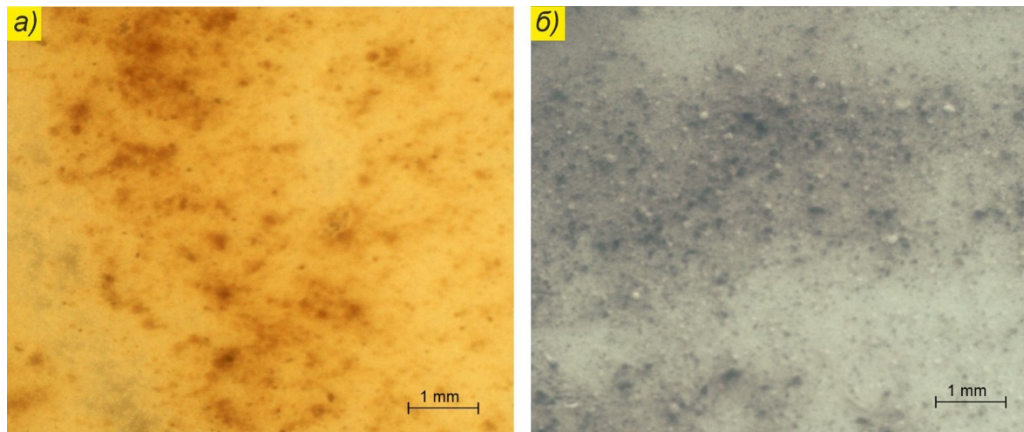


Рис. 2. Микрофотографии сырья:  
а – абагурский суглинок; б – зола-уноса ТЭЦ

Для оценки формы и размера частиц сырьевых материалов, измельченных на бегунах, дополнительно проводились исследования подготовленных проб при помощи бинокулярной лупы и цифрового микроскопа марки SX08.U2.5000K.0815-Microscope Cameta. Водная дисперсия материала наносилась на стеклянные пластинки толщиной 1,5 мм и после высушивания закреплялась при помощи канадского бальзама. Результаты исследования в проходящем свете представлены на рис. 2.

Можно отметить, что в глинистом сырье преобладают частицы желтовато-песочного цвета, имеющие преимущественно округлую форму

диаметром менее 50 мкм. Наблюдаются более темные скопления коричневого цвета, состоящие из более крупных зерен размером 50-100 мкм предположительно гематитовой природы.

В пробе золы-уноса наблюдаются мелкие, равномерно распределенные по площади шлифа, частицы размером до 30 мкм, имеющие неправильную форму с острым очертанием граней. Также в небольшом количестве присутствуют округлые частицы темно-серого и светло-серого, почти белого, цвета диаметром от 50 мкм до 100 мкм.

#### Обсуждение результатов

В лабораторных условиях при изготовлении керамических образцов из золы-уноса за основу был

взят ранее запатентованный способ, включающий приготовление опудренных гранул [16]. В отличие от него с учетом полного отсутствия связности зольного компонента шихты *изготовление керамических образцов с матричной структурой* включало следующие операции:

- *агрегирование зольного компонента в гранулы*. При увлажнении в высушенную золу-уноса в качестве связки вводился водный раствор ПВС. Из полученной массы методом экструзии прессовались жгуты непрерывной длины через фильеру с диаметром отверстий 3 мм. Прессование проводилось на лабораторном шнековом прессе-экструдере ИС-1.

В установке ИС-1 перемешиваемая лопастями масса золы-уноса влажностью 11-14 % перемещается по винтовой линии вдоль внутренней поверхности корпуса пресса в сторону выходного отверстия экструдера. При этом частицы золы, соударяясь друг с другом в присутствии связки ПВС, слипаются и уплотняются под действием давления лопастей пресса при выходе через отверстия выходной решетки. При вращении в смесителе сформированные жгуты разбиваются на отдельные гранулы с коэффициентом формы от 1:1 до 1:2,5;

- *формирование оболочки вокруг гранул*. Для создания в процессе обжига керамической упрочняющей матрицы вокруг ядер, сформированных из зольных отходов, на их поверхность наносился слой тонкомолотого глинистого компонента;

- *прессование образцов из опудренного гранулята*. Из опудренных зольных гранул влажностью 10-12 % на гидравлическом прессе формовались образцы-цилиндры диаметром 50 мм и высотой 45-55 мм при удельном давлении 15-17 МПа. Прессование образцов осуществлялось в две ступени при одностороннем приложении нагрузки с изобарической выдержкой в течении 3-5 сек по середине прикладываемого усилия;

- *сушка и обжиг керамических образцов*. Сушка отпрессованного сырца проводилась в сушильном шкафу ШС-80-01-СПУ в два этапа. На первом этапе образцы выдерживались при температуре от 40 до 60 °С в течении 3-4 часов. На втором этапе высушивание образцов до постоянной массы осуществлялось при температуре 100-105 °С. Обжиг проводился в муфельной печи по ступенчатому режиму с выдержкой при максимальной температуре 1030-1050 °С в течении 1 часа.

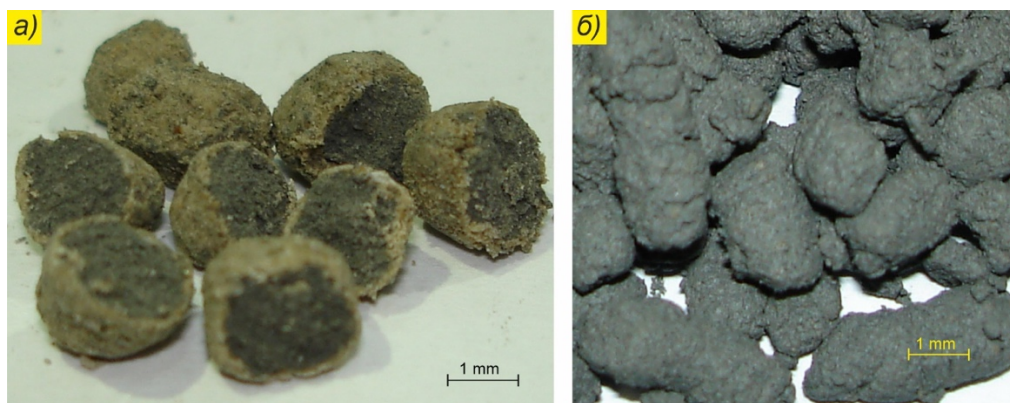


Рис. 3. Покрытые оболочкой из глиняной компоненты гранулы на основе золы-уноса, сформированные на турболопастном смесителе-грануляторе ТЛ-020 К01 (а), и прессе-экструдере ИС-1 (б)

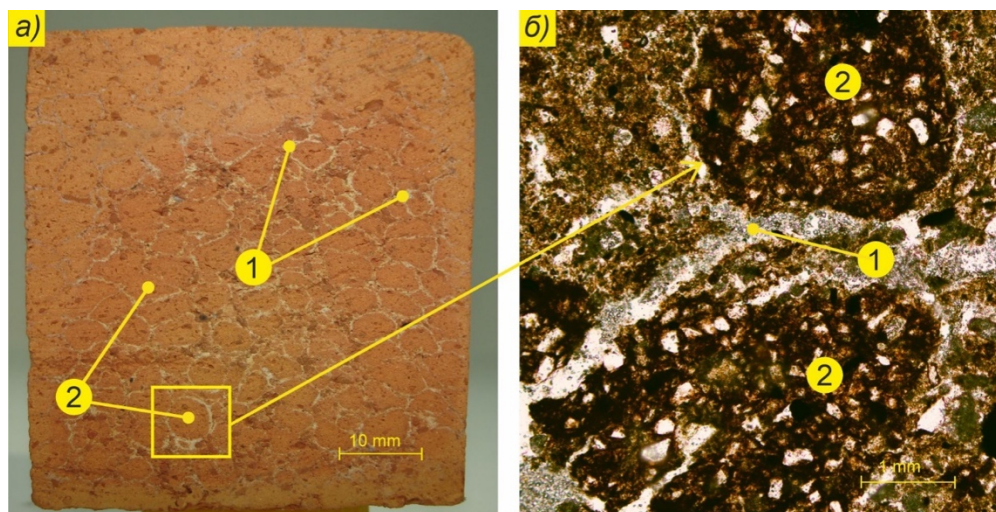


Рис. 4. Структура обожженных при температуре 1050 °С керамических образцов, отпрессованных из покрытых оболочкой зольных гранул, полученных путем экструзии на прессе-экструдере ИС-1: а – аншлиф вертикального сечения образца, отраженный свет; б – шлиф, проходящий свет, николи параллельны: 1 – матрица (дисперсионная среда); 2 – ядро (дисперсная фаза)



На рис. 3 представлены зольные гранулы, полученный двумя разными способами. Гранулы, полученные на турболопастном смесителе-грануляторе ИТЛ-25 (рис. 3, а), имеют округлую форму и преимущественный размер до 3 мм. При этом на изломе можно выделить сердцевину темно-серого цвета и выраженную коричневую оболочку, сформированную из легкоплавкой глинистой компоненты шихты. Гранулы размером до 5 мм, полученные на прессе-экструдере ИС-1 (рис. 3, б), имеют в основном вытянутую форму с соотношением длины к толщине от 1:1,05 до 1:1,75.

Структура керамического материала изучалась на вертикальных распилах и шлифах с обожженных образцов соответственно в отраженном и проходящем свете (рис. 4). В первом случае использовалась цифровая макrofотосъемка с короткофокусной приставкой, во втором – поляризационный микроскоп МИН-8.

На рис. 4, а можно выделить выраженную макроструктуру композиционного материала с выраженной границей раздела фаз.

Из легкоплавкой оболочки агрегированных комплексов в процессе обжига сформировалась матрица (дисперсионная среда) керамического матричного композита (поз. 1, рис. 4, а, б). На месте зольных гранул можно отметить формирование ядер (поз. 2, рис. 4, а, б), представляющих собой дисперсную фазу композиционного материала.

При детальном рассмотрении наблюдается выраженная мелкозернистая структура ядер с отдельными обособлениями темного цвета (рис. 4 б).

#### *Выводы*

В результате проведенных исследований с учетом вещественного состава и технологических свойств золы-уноса, как потенциального техногенного керамического сырья, имеющего алюмосиликатную природу, но не обладающего пластичностью, разработан способ получения покрытых оболочкой зольных гранул. Данный способ включает агрегирование зольного компонента в гранулы, формирование оболочки на их поверхности, прессование, сушку и обжиг керамических образцов. В результате получены керамические материалы с матричной структурой на основе (60-70 мас. %) зольного компонента в составе шихты.

#### **Библиографический список**

1. Ведомости. Устойчивое развитие. Охрана природы. Ожидается, что к 2050 году объем отходов в мире вырастет до 3,4 млрд тонн // URL: [https://www.vedomosti.ru/esg/protection\\_nature/columns/2023/03/16/966770-ozhidaetsya-chto-2050-godu-obem-otходov-mire-virastet-do-34-mlrd-tonn](https://www.vedomosti.ru/esg/protection_nature/columns/2023/03/16/966770-ozhidaetsya-chto-2050-godu-obem-otходov-mire-virastet-do-34-mlrd-tonn) (дата обращения 22.03.2024).
3. В Минэнерго предложили вовлечь в оборот около 25 млн тонн отходов тепловых станций в

год // Rambler Finance. – URL: <https://finance.rambler.ru> (дата обращения 22.03.2024).

4. Использование техногенных отходов энергетики и металлургии в строительной керамике / Д. Т. Толегенов, М. А. Елубай, Д. Ж. Толегенова [et al.] // Bulletin of Toraighyrov University. Energetics series. – 2022. – No. 2.2022. – P. 310-321. – DOI 10.48081/jxdi3996. – EDN ZUDWSI.
5. Опыт применения техногенных отходов в производстве керамических материалов (обзор за 2000-2017 гг.) / Р. А. Арискина, Е. В. Михайлова, А. В. Сукоркина, А. М. Салахов // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 15. – С. 37-41. – EDN ZEYYDJ.
6. Гайшун, Е. С. Технология производства высокоэффективных керамических камней на основе продуктов переработки угольных отвалов / Е. С. Гайшун, Х. С. Явруян, В. Д. Котляр // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : Материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова, Пенза, 16–18 октября 2018 года / Под общей редакцией М.О. Коровкина, Н.А. Ерошкиной. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2018. – С. 18-26. – EDN MGNDJX.
7. Бахтиерова, Н. Б. Влияние выбросов предприятий теплоэнергетики на окружающую среду и здоровье населения / Н. Б. Бахтиерова, Б. М. Сулейменова // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 4(10). – С. 110-113. – EDN WBBMTJ.
8. Котляр, В. Д. Перспективы развития производства керамического кирпича полусухого прессования / В. Д. Котляр, Ю. В. Терехина, Ю. И. Небежко // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 6-7. – EDN NQUACN.
9. Внедрение производства золокерамических стеновых материалов на ОАО "Тольяттинский кирпичный завод" / С. Ж. Сайбулатов, В. В. Шевандо, А. А. Кулибаев [и др.] // Строительные материалы. – 2002. – № 1. – С. 2-3. – EDN IBEDJT.
10. Столбоушкин А.Ю., Истерин Е.В. Исследование золы-уноса Западно-Сибирской ТЭЦ как потенциального сырья для получения керамики // Материалы VI международной научно-практической конференции «Качество.



- Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). – 2023. – С. 96-103.
11. Столбоушкин, А. Ю. Перспективное направление развития строительных керамических материалов из низкокачественного сырья / А. Ю. Столбоушкин // Строительные материалы. – 2018. – № 4. – С. 24-28. – EDN XMGZTF.
  12. Силикатный кирпич на основе зольных микросфер и извести / В. Д. Котляр, А. В. Козлов, О. И. Животков, Г. А. Козлов // Строительные материалы. – 2018. – № 9. – С. 17-21. – DOI 10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21. – EDN XZJALZ.
  13. Рахимов, Р. З. Топливо-энергетический комплекс, экология и минеральные вяжущие вещества / Р. З. Рахимов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – № 3(61). – С. 67-74. – DOI 10.52409/20731523\_2022\_3\_67. – EDN НОАОТХ.
  14. Использование техногенных отходов для получения лицевого керамического кирпича / Л. П. Щукина, Е. В. Любова, И. В. Билан, М. Ф. Картавенко // Строительные материалы. – 2010. – № 8. – С. 28-30. – EDN MTHGOL.
  15. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н. И. Ватин, Д. В. Петросов, А. И. Калачев, П. Лахтинен // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4(22). – С. 16-21. – EDN NVYMZJ.
  16. Астафьева, О. Е. Применение золошлаковых отходов в промышленности строительных материалов / О. Е. Астафьева // Уголь. – 2024. – № 2(1177). – С. 85-88. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-2-85-88. – EDN JNPGHR.
  17. Патент № 2593832 С1 Российская Федерация, МПК С04В 33/13. Способ изготовления стеновых керамических изделий : № 2015121962/03 : заявл. 08.06.2015 : опубл. 10.08.2016 / А. И. Иванов, А. Ю. Столбоушкин, Г. И. Стороженко ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "БАСКЕЙ КЕРАМИК". – EDN KVOENR.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.



Научная статья  
УДК 691-405.5  
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура  
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия  
DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_31

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСАДКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

© Авторы, 2024  
SPIN: 4454-0341

**КРАСОВА Анна Викторовна**  
аспирант  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: krasova1981@mail.ru)

SPIN: 2883-1204  
ResearcherID: КАМ-1485-2024  
ScopusID: 57193119813

**СМИРНОВА Ольга Евгеньевна**  
кандидат технических наук, доцент  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: smirnova.olj@yandex.ru)

**Аннотация.** В настоящее время, в строительной индустрии приоритетным направлением является расширение сырьевой базы с помощью возможного применения различных видов отходов, которые занимают значительные территории России и оказывают негативное воздействие на экологию окружающей среды. Осадок поверхностных сточных вод не является исключением. Его значительное накопление связано с быстрым ростом и развитием городов - урбанизацией. Использование данного вида техногенного отхода в производстве строительных материалов позволит улучшить экономику страны.

В статье приведены результаты исследования возможности использования осадка поверхностных сточных вод в производстве ячеистого бетона. Исследованы состав и свойства осадка поверхностных сточных вод в сезонный период «весна-осень». Проведен сравнительный минералогический, гранулометрический, морфологический анализ данного вида сырья с наиболее распространёнными компонентами (зола, песок), применяемыми в производстве ячеистого бетона.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод; минералогический состав; гранулометрический состав; заполнитель; ячеистый бетон; строительные материалы

**Для цитирования:** Исследование физико-механических свойств осадка поверхностных сточных вод / А.В. Красова, О.Е. Смирнова // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 31-36. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_31



## RESEARCH OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE SEDIMENT OF SURFACE WASTEWATER

© The Author(s) 2024

**KRASOVA Anna Viktorovna**

PhD Candidate

*Novosibirsk State Architectural and Construction University  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: krasova1981@mail.ru)*

**SMIRNOVA Olga Evgenievna**

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

*Novosibirsk State Architectural and Construction University  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: smirnova.olj@yandex.ru)*

**Abstract.** Currently, in the construction industry, the priority is to expand the raw material base through the possible use of various types of waste, which occupy significant territories of Russia and have a negative impact on the environment. The sediment of surface wastewater is no exception. Its significant accumulation is associated with the rapid growth and development of cities — urbanization. The use of this type of man-made waste in the production of building materials will improve the country's economy.

The article presents the results of a study of the possibility of using surface wastewater sludge in the production of cellular concrete. The composition and properties of the sediment of surface wastewater in the seasonal period “spring-autumn” are studied. A comparative mineralogical, granulometric, and morphological analysis of this type of raw material with the most common components (ash, sand) used in the production of cellular concrete has been carried out.

**Keywords:** sewage sludge; mineralogical composition; granulometric composition; aggregate; cellular concrete; building materials

**For citation:** Research of the physical and mechanical properties of the sediment of surface wastewater / A.V. Krasova, O.E. Smirnova // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 31-36 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_31

### Введение

Вопрос по утилизации осадков сточных вод в настоящее время приобретает важное значение, так как имеет не только природоохранное, но и экономическое значение, содействуя восполнению сырьевых материальных ресурсов. Кроме этого, экологический кризис, обусловленный недостатком качественного природного сырья для производства композиционных строительных материалов, а также накопление техногенных отходов, таких как осадки сточных вод, связанных с отчуждением значительных площадей земли под отвалы и их накопители, требует изучения состава и свойств отходов для нахождения путей их использования.

Состав осадка поверхностных сточных вод напрямую зависит от химического состава и структуры загрязнения сточных вод, так как природой их формирования являются ливневые стоки, которые образуются из дождевых, талых и поливочных вод с городских, а также промышленных и территорий [1].

По результатам анализа химического состава осадка поверхностных сточных вод выявлено, что данный вид отхода содержит органические примеси, которые могут оказывать отрицательное воздействие на качество бетона. Усреднённый химический состав осадка поверхностных сточных вод приведён в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав осадка поверхностных сточных вод

Наименование показателя	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
Содержание компонента, масс., %	56,14-76,57	0,24-0,57	6,77-9,76	2,44-8,56	0,04-0,12	1,17-2,75	3,86-11,12	0,94-1,53
Наименование показателя	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	SO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	ППП
Содержание компонента, масс., %	1,1-1,66	0,1-0,67	≤ 0,04	0,14-2,57	0,01-0,02	0,01-0,02	0,01-0,02	4-9



Рис. 1. Классификация методов очистки сточных вод

Таким образом, осадки поверхностных сточных вод должны, как и осадки бытовых сточных вод, подвергаться обработке с целью обезвоживания, стабилизации, снижения запаха, обеззараживания, улучшения физико-механических свойств, обеспечивающих возможность их экологически безопасной утилизации или размещения (хранения или захоронения) в окружающей среде.

Варианты очистки сточных вод и осадков должны рассматриваться в комплексе. На основе анализа технической и научной литературы сформирована классификация наиболее распространенных методов очистки сточных вод, представленная на рисунке 1 [2].

Согласно классификации, для возможности применения отходов в производстве строительных материалов необходимо применять методы коагуляции и флокуляции, так как данные способы позволяют не только очистить и обеззаразить сырьё, но и оказывают влияние на структурообразование.

Основной целью настоящей работы является исследование возможности использования осадка поверхностных сточных вод в производстве строительных материалов, а именно в ячеистом бетоне.

Для реализации поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть подготовительные работы перед применением осадка поверхностных сточных вод, а именно способы очистки и обеззараживания;

- исследовать физико-механические свойства осадка;

- сравнить свойства данного вида сырья с наиболее распространёнными компонентами, применяемыми в производстве ячеистого бетона;

- по результатам проведённых исследований сделать вывод о возможности применения осадка сточных вод в производстве ячеистого бетона.

#### *Методология, результаты и обсуждение*

В работе исследовались осадки с локальных очистных сооружений города Новосибирска, по три пробы в период осень-весна, которые отбирали совком методом точечных проб в соответствии с [4] и [5], далее пробы усреднялись. При работе с осадками сточных вод важным является соблюдение условий хранения, а именно, необходимо, чтобы пробы хранились в прохладном месте в стеклянной таре с плотно закрывающейся крышкой.

С целью удаления запаха, контроля свойств и удобства дозирования в газобетон неавтоклавный осадок поверхностных сточных вод обезвоживался в сушильном шкафу при температуре 110°C до стабильно сухого состояния (влажность 19%).

На усреднённых пробах был проведен рентгеноструктурный анализ осадка. Минералогические составы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Минералогический состав осадка поверхностных сточных вод

Наименование минерала	Содержание кристаллической фазы, %			
	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год
Кварц	более 50	более 50	более 50	более 50
Кальцит	2-3	2-3	2-3	2-3
Калиевый полевой шпат	5-10	5-10	5-10	5-10
Плагиоклаз	5-10	5-10	5-10	5-10
Амфибола	2-3	2-3	2-3	2-3
Слюда	3-5	3-5	3-5	3-5
Хлорит	3-5	3-5	3-5	3-5
Каолинит	Возможны следы	Возможны следы	2-3	2-3
Серпентин	-	-	Возможны следы	Возможны следы
Пирит	-	-	-	-
Среднее	70-86	70-86	72-89	72-89

Таблица 3. Минералогический состав мелкого заполнителя

Наименование минерала	Содержание кристаллической фазы, %		
	Зола ТЭЦ	Песок	Осадок поверхностных сточных вод
Кварц	54,2-59,1	50-98	56-76
Карбонат кальция	3-5	Не установлено	2-3
Калиевый полевой шпат	Присутствует в малых количествах	5-15	5-10
Муллит	Присутствует в малых количествах	Не установлено	Не установлено
Гематит	Присутствует в малых количествах	Не установлено	Не установлено
Магнетит	Присутствует в малых количествах	Не установлено	Не установлено

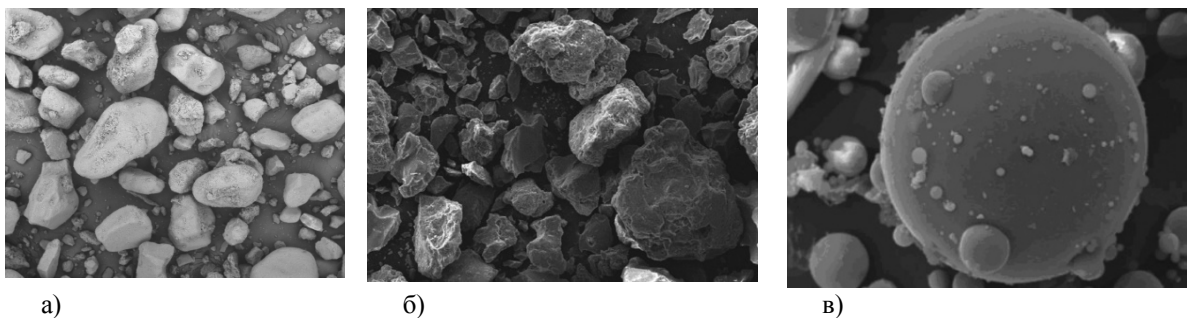


Рис. 2. Морфология частиц: а) осадок поверхностных сточных вод; б) песок; в) зола.

Согласно полученным данным за временной период 3 года, можно говорить о стабильности минералогического состава техногенного отхода, что важно при использовании его в бетоне.

По проведённым испытаниям методом определения конца схватывания и водостойкости [3, С. 264-265] выявлено, что осадок поверхностных сточных вод не обладает вяжущими свойствами. На основании этого предложено данный вид отхода использовать в качестве мелкого заполнителя. Для этого минералогический состав осадка поверхностных сточных вод был сравнен с наиболее часто применяемым сырьём в ячеистом бетоне – песком и кислыми золами. (Табл.3). В качестве сравнения бралось сырьё Новосибирской области:

песок АО «Левобережный песчаный карьер» с. Марусино; золы ТЭЦ (Бердская и Линёвская золы).

Анализируя данные таблицы 3 прослеживается сходство минералогического состава сухого осадка поверхностных сточных вод с кислыми золами ТЭЦ по содержанию кварца и калиевого полевого шпата, при этом наиболее близок по минералогическому составу к исследуемому осадку песок, что подтверждается морфологией частиц осадка поверхностных сточных вод, песка и золы, представленной на рисунке 2.

Далее определялся гранулометрический состав, с использованием набора сит № 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315. Так как морфологические составы осадка поверхностных сточных вод наиболее схожи с



песком, то по фракционному составу осадок поверхностных сточных вод был сравнен с составом песка АО «Левобережный песчаный карьер» (с.

Марусино). Результаты представлены в таблице 4, построены кривые распределения фракций осадка поверхностных сточных вод и песка (Рис.3).

Таблица 4. Фракционный состав осадка поверхностных сточных вод и песка

Фракции, мм	Содержание фракции, %			Песок
	2020 год	2021 год	2022 год	
Св. 2,5 до 5 мм	7	7	10	1,6
Св. 1,25 до 2,5 мм	8	5	11	2
Св. 0,63 до 1,25 мм	24	24	25	9,5
Св. 0,315 до 0,63 мм	50	55	46	45,4
Св. 0,16 до 0,315 мм	10	8	7	37,3
Остаток	1	1	1	4,2
Сумма	100	100	100	100

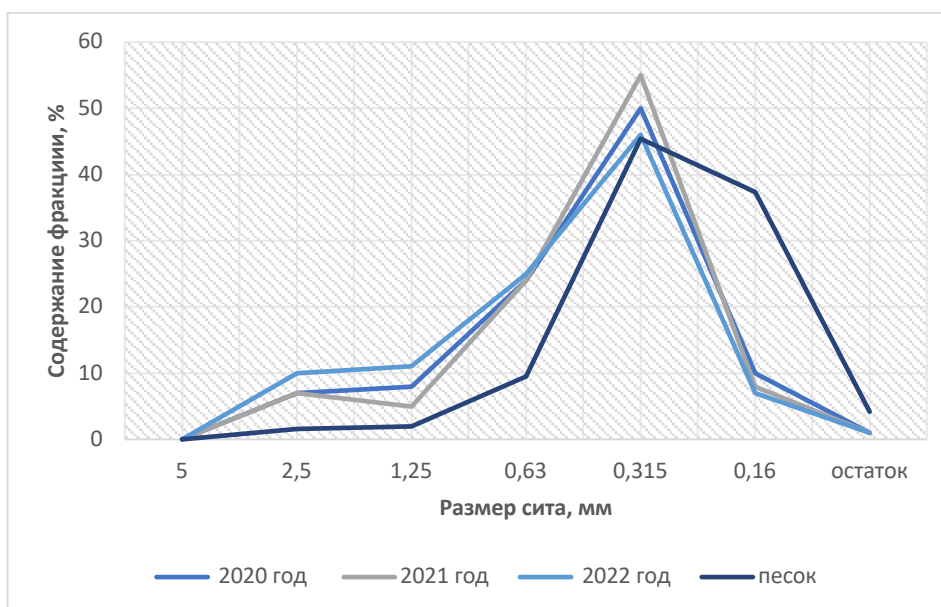


Рис. 3. Кривые распределения фракций осадка поверхностных сточных вод и песка

Выявлено, что в структурном составе осадка поверхностных сточных вод преобладают частицы размером от 0,315 до 0,63 мм. Также по исследованию фракционного состава осадка за временной период три года можно говорить о стабильности фракционного состава данного вида техногенного отхода.

#### Выводы

По анализу технической литературы выявлено, что наиболее часто в строительной индустрии применяют методы коагуляции и флокуляции, которые могут не только очищать и обеззараживать, но и положительно влиять на структурообразование цементного камня.

Для применения данного вида техногенного отхода в качестве мелкого заполнителя в ячеистом бетоне, необходимо подвергать его подготовительной обработке с целью очистки и

обеззараживания. Для этого определен оптимальный режим сушки при 100°C в течение 3,5-5 часов, временной интервал зависит от начальной влажности сырья.

Установлено, что по минералогическому, морфологическому и гранулометрическому составу осадок поверхностных сточных вод имеет наибольшее сходство с песком.

По результатам проведенных исследований установлено, что осадок поверхностных сточных вод не обладает собственной активностью, также согласно полученным данным за временной период 3 года, можно говорить о стабильности минералогического и гранулометрического состава техногенного отхода, таким образом осадок можно использовать в качестве мелкого заполнителя в бетоне.



Библиографический список

1. Красова, А. В. Исследование физико-химических свойств осадка ливневых сточных вод для применения в производстве лёгкого бетона / А. В. Красова, О. Е. Смирнова, С. А. Шахов // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 3(22). – С. 93-97. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_3\_93. – EDN XPN1TH.
2. Никулин Ф.Е. Утилизация и очистка промышленных отходов. - Л.: Судостроение, 1980. – 232 с.
3. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов. - М., «Высшая школа», 1973. 504с.
4. ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03 Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления»
5. ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнённость».
6. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 248 с.
7. Агрегация загрязнённой воды коагуляцией: Учебное пособие/ Кичигин В.И. – М.: Стройиздат, 1994. – 100 с.
8. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. – 356 с.
9. Алексеев, В. И. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Водоснабжение и водоотведение" направления подготовки дипломированных специалистов "Стр-во" / В.И. Алексеев, Т.Е. Винокурова, Е.А. Пугачев; Под общ. ред. Е.А. Пугачева. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 173 с.
10. Долгарёв А. В. Вторичные ресурсы в производстве строительных материалов. - М.: Стойиздат, 1990. – 456 С.
11. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. л/о Химия, 1987. – 100 с.
12. Явинский, А. В. Опыт Омского региона по переработке отходов ТЭЦ / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова, В. С. Лесовик // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 144-147. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_4\_144. – EDN MXPYBF.
13. Тараканов, О. В. Расширение области применения минеральных шламов в производстве строительных и отделочных материалов / О. В. Тараканов, Е. А. Белякова, Х. Б. Фишер // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 120-124. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_4\_120. – EDN DBOGHU.
14. Хозин, В. Г. Роль строительной индустрии в реализации Федерального проекта "Экономика замкнутого цикла" / В. Г. Хозин, Е. А. Цыганова // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 1(20). – С. 147-159. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_1\_147. – EDN PJVVP.
15. Красова, А. В. Безопасность техногенных отходов в производстве строительных материалов / А. В. Красова, О. Е. Смирнова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : Материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20–21 апреля 2023 года. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. – С. 276-277. – EDN TVLNUI.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.



Научная статья  
УДК 691.327 : 666.973:539.4  
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура  
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия  
DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_37

## ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕЛИГНИФИЦИРОВАННОЙ СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТАХ

© Авторы 2024  
SPIN: 6626-3274

**ПИЧУГИН Анатолий Петрович**  
доктор технических наук, профессор, главный научный  
сотрудник  
*Новосибирский государственный аграрный университет*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: [gtunsau@mail.ru](mailto:gtunsau@mail.ru))

AuthorID: 51408

**ТКАЧЕНКО Сергей Евгеньевич**  
аспирант  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин)*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: [ankeger1@mail.ru](mailto:ankeger1@mail.ru))

SPIN: 2883-1204

**СМИРНОВА Ольга Евгеньевна**  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
Строительных материалов, стандартизации и сертификации  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин)*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: [smirnova.olj@yandex.ru](mailto:smirnova.olj@yandex.ru))

SPIN: 4599-7282

**МИТИНА Лилия Анатольевна**  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
*Новосибирский государственный аграрный университет*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: [liliya.mitina@list.ru](mailto:liliya.mitina@list.ru))

**Аннотация.** Внедрение светопропускаемой древесины позволяет эффективно утилизировать кусковые отходы деревообработки и открывает интересные направления в архитектурно-декоративном оформлении зданий при их строительстве и ремонте, а также в дизайнерских проектах. В статье рассмотрено влияние технологических факторов при обработке древесины на адгезионные характеристики делигнифицированного органического материала. Установлены закономерности проявления адгезионной способности в зависимости от последовательности и параметров обработки древесных образцов. Приведены результаты фотоэлектроколориметрических, спектральных и адгезионных исследований, которые дают представление о рациональности выбранных режимов обработки древесных образцов для обеспечения требуемой светопропускаемости.

**Ключевые слова:** светопропускание древесины; делигнификация древесины; адгезионные свойства; спектры поглощения; фотоэлектроколориметрические исследования; строительные материалы

**Для цитирования:** Пичугин А.П., Ткаченко С.Е., Смирнова О.Е., Митина Л.А. Изучение адгезионных свойств делигнифицированной светопропускающей древесины в строительных композитах // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 37-43. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_37



## STUDY OF ADHESIVE PROPERTIES OF DELIGNIFIED LIGHT-TRANSMITTING WOOD IN BUILDING COMPOSITES

© The Author(s) 2024

**PICHUGIN Anatoly Petrovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Novosibirsk State Agrarian University  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

**TKACHENKO Sergey Evgenievich**

PhD Candidate  
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: ankeger1@mail.ru)

**SMIRNOVA Olga Evgenievna**

Candidate of Technical, Associate Professor  
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: smirnova.olj@yandex.ru)

**MITINA Lilia Anatolyevna**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor  
Novosibirsk State Agrarian University  
(Russia, Novosibirsk)

**Abstract.** The introduction of light-permeable wood makes it possible to efficiently dispose of lumpy woodworking waste and opens up interesting directions in the architectural and decorative design of buildings during their construction and repair, as well as in design projects. The article considers the influence of technological factors in the processing of wood on the adhesive characteristics of delignified organic material. The regularities of the manifestation of adhesive ability depending on the sequence and parameters of processing of wood samples are established. The results of photoelectrocolorimetric, spectral and adhesive studies are presented, which give an idea of the rationality of the selected processing modes of wood samples to ensure the required light transmission.

**Keywords:** light transmission of wood; delignification of wood; adhesive properties; absorption spectra; photoelectrocolorimetric studies; building materials

**For citation:** Pichugin A.P., Tkachenko S.E., Smirnova O.E., L.A. Mitina. Study of adhesive properties of delignified light-transmitting wood in building composites // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 37-43 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_37

Интенсивность прохождения светового потока через древесные образцы связана, в первую очередь, с наличием лигнина в древесине, так как по данным общий коэффициент поглощения биополимера составляет от 80 до 95 %. Данное утверждение справедливо как в отношении УФ-поглощения, так и поглощения видимого света, которое применяют для характеристики белизны целлюлозы [1-3]. Известно, что после проведения делигнификации существенно возрастает способность древесины к светопропусканию. Этот факт объясняется различием сорбционной способности компонентов древесины. Известно, что лигнин имеет самую низкую сорбционную способность (коэффициент 0,6) по сравнению с необработанной древесиной (коэффициент 1,0). Кроме того, лигнин, как правило, покрывает все внутренние полости сосудов и капилляров древесины, препятствуя доступу раствора с красителем к целлюлозе. Наибольшей сорбционной способностью обладает гемицеллюлоза

(коэффициент 1,56). Учитывая тот факт, что гемицеллюлозы и целлюлозы в составе древесины содержится около 65–75%, можно сделать вывод, что освобожденная от лигнина древесина проявляет большую поглощательную способность по сравнению с необработанными образцами [1–3]. Поскольку лигнин – основное светопоглощающее вещество, общий коэффициент поглощения которого составляет 80 – 95 %, содержащийся в древесине примерно от 20 до 30 %, то после ее делигнификации биополимера остается от 1 до 8 %, благодаря чему светопроницаемость древесного образца повышается.

Этот вывод хорошо согласуется не только с поглощательной способностью, но и подтверждается анализом образцов на светопропускание.

Существующие методы оценки остаточного лигнина химическим способом весьма сложные и длительные. Одним из вариантов установления остаточного лигнина в древесине после

делигнификации может быть исследование методом фотоэлектроколориметрии, который эффективен для изучения адгезии полимера к наполнителю и получило большое распространение, что объясняется простотой и доступностью проведения испытаний и достаточной точностью определений. Для проведения этих исследований предварительно было определено влияние различных красителей на адсорбцию жидкого стекла и выбран нейтральный по отношению к этому материалу краситель. Адсорбция красителя определяется по измерению оптических плотностей, измерение которых производится на фотоэлектроколориметре, и вычисляется по формуле [1-3]:

$$a = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \times 100\%,$$

где:  $D_0$  – исходная плотность раствора красителя;  $D_1$  – равновесная плотность раствора красителя после контактирования с испытуемым материалом.

Важным вопросом при проведении данных исследований является правильный выбор красителя, который должен быть инертным по отношению к защитной композиции, т.е. не адсорбироваться на его поверхности. С этой целью были опробованы следующие водные растворы красителей: конго красный, родамин 6Ж, родамин С, метиленовый синий и метиловый фиолетовый. Проведенные исследования по выявлению инертного красителя показали, что наиболее приемлемым видом красителя является водный раствор метиленового синего, поэтому все дальнейшие определения производились на этом красителе.

В исследованиях использовались предварительно подготовленные древесные образцы березы со светопропускающим эффектом, делигнифицированные гидропероксидомнатрия, перекисью водорода и этиловым спиртом, после чего обработанные растительным маслом со скипидаром и высушенные до постоянной массы [3].

Фотоэлектроколориметрические характеристики растворов для изучения адсорбции древесных образцов к нейтральным растворам определялись с помощью фотометра КФК-3-«ЗОМЗ». В качестве красителя использовался метиленовый синий ( $C_{16}H_{18}N_3Cl \cdot 3H_2O$ ) выбранный из нескольких разных наиболее распространенных красящих веществ. Показания о силе света, проходящего через кюветы с исследуемым и контрольным растворами, фиксировались на электронном табло в виде процентного содержания красителя в растворах, что соответствовало плотности красящей композиции после пребывания в ней древесных образцов [2].

Методика проведения испытаний была принята аналогичной в работе [1-2] и представляется в следующей последовательности: защищенные (пропитанные) образцы делигнифицированной древесины измельчались и отбирались фракции 2,5–5 мм; навеска материала 1 грамм (в трех параллелях) встряхивалась в течение 15 минут в 20 мл раствора красителя. После выдерживания в течение суток определялась концентрация раствора, для чего отбиралась проба в 10 мл раствора и помещалась в кювету фотоэлектроколориметра. На рис. 1 представлены результаты испытаний на поглощение красителя образцами древесины на различных стадиях подготовки и переработки древесины при обеспечении светопропускания.

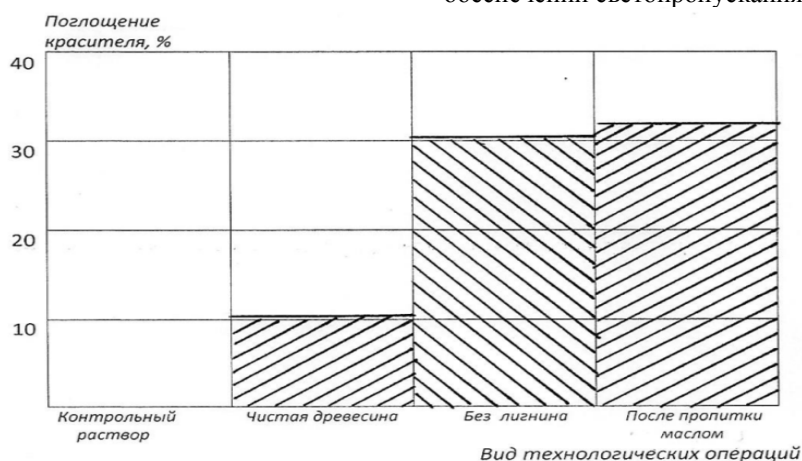


Рисунок 1. Зависимость поглощения красителя образцами древесины после различных видов технологических операций

Отмечено резкое увеличение поглощательной способности древесины для образцов, после проведения делигнификации. Этот факт объясняется различием сорбционной способности компонентов древесины, что было описано выше. Поскольку лигнин – основное светопоглощающее вещество,

общий коэффициент поглощения которого составляет 80–95%, содержащийся в древесине примерно от 20 до 30 %, то после делигнификации биополимера светопропускаемость древесного образца увеличивается.

Косвенная оценочная характеристика остаточного лигнина методом фотоэлектроколориметрии по адсорбции раствора красителя достаточно показательна, не очень сложна и оперативна. Полупрозрачный при визуальном рассмотрении раствор заливали в кювету толщиной 1 см и измеряли на фотометре светопоглощение при различных длинах световых волн от 280 до 410 нм.

Концентрацию раствора лигнина в кадоксен-воде, г/дм<sup>3</sup>, определяли по градуировочному графику и по рассчитанному с помощью графика удельному коэффициенту светопоглощения. Массовую долю остаточного лигнина древесины, в процентах, к исходной абсолютно сухой целлюлозе, рассчитывают также по существующим формулам.

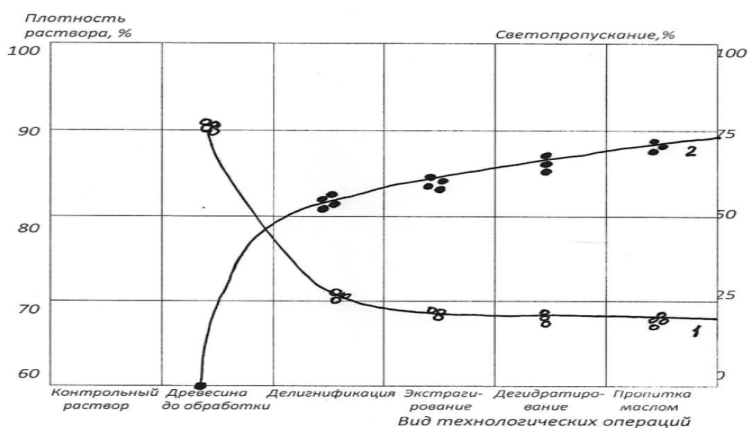


Рисунок 2. Зависимость плотности раствора красителя и светопропускания древесными образцами после различных видов технологических операций:  
1 – изменение плотности раствора с красителем;  
2 – изменение светопропускания

Спектральные методы позволяют проводить опыты значительно быстрее, поэтому в наших исследованиях был использован спектрофотометр UV-2501 с приставкой диффузного отражения ISR-240A с электронными спектрами диффузного отражения (ЭСДО).

Одним из главных параметров качества древесины, определяемой её область применения, являются сорбционная емкость, которая должна быть максимально возможной. Этот параметр коррелирует с оптическими данными древесины, поэтому анализ спектров отражения и поглощения позволяет представить полную картину свойств в сравнении до и после обработки. Приготовленные серии образцов для испытаний были приняты следующие: 1 – естественная древесина; 2 – делигнифицированная древесина; 3 –

экстрагированная древесина; 4 – дегидратированная древесина; 5 – пропитанная маслом древесина. На рисунке 3 представлены спектры пропускания образцов древесины на различных стадиях обработки [4].

Из анализа спектров пропускания хорошо видно два параметра: степень прозрачности образцов и степень отражения света. Наиболее чистыми, с точки зрения примесей, являются образцы номер 2, так как в видимой области у них наибольший коэффициент отражения. Самыми грязными являются образцы 1, т. е. необработанная древесина, так как содержит примесь, которая поглощает в области 410–700 нм и уменьшает степень общего отражения материала в этом диапазоне, что в полне закономерно, т. к. материал в естественном состоянии [2-4].

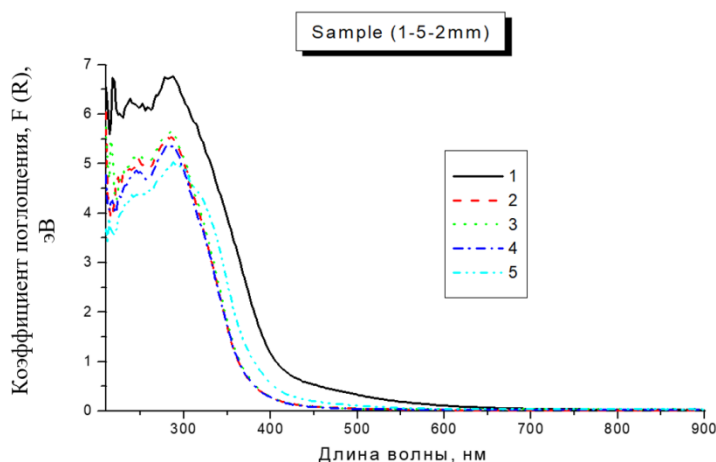


Рисунок 3. Спектры поглощения древесных образцов после различных этапов обработки в нм



Светопропускание древесины зависит от наличия остаточного лигнина, связующих, применяемых для получения композитов на основе органических наполнителей, являются показатели прочности и адгезии с органическим наполнителем. На первом этапе устанавливалось процентное отношение поглощения древесиной красителя из раствора. С этой целью были предварительно испытаны обработанные по различным вариантам древесные образцы, позволившие выявить определенные закономерности в сорбционной способности отдельных фрагментов древесины (рисунок 3).

Отмечено резкое увеличение поглощательной способности древесины для образцов, после проведения делигнификации. Этот факт объясняется различием сорбционной способности компонентов древесины, поскольку лигнин имеет самую низкую сорбционную способность (коэффициент 0,6) по сравнению с целлюлозой и гемицеллюлозой (коэффициент 1,56). Этот вывод хорошо согласуется не только с поглощательной способностью, но и подтверждается анализом образцов на светопропускание, график которого представлен на рисунке 2.

Из анализа спектров поглощения (рисунок 3) хорошо видно два параметра: глубина проникновения примеси в объем волокна и степень рыхлости образцов в целом, то есть значение его сорбционной емкости. Для всех образцов наиболее вероятно можно обсуждать край поглощения системы как целого, то есть можно определить ширину запрещенной зоны всей системы, имеющей значение  $E_g$ , как это обычно рассматривают для полупроводниковых и диэлектрических материалов. В таком случае, из анализа спектров поглощения в диапазоне (300–400 нм) видно, что наименьшее значение  $E_g$  (в эВ) наблюдается для образца 1. Промежуточное значение  $E_g$  будет для образца 2. В то время как для остальных трех образцов (3, 4 и 5) значение  $E_g$  будет очень близкое или почти одинаковое ( $\pm 0,1$  эВ). Наименьшее значение  $E_g$  будет свидетельствовать о наибольшем количестве примеси, присутствующей в образцах под номером 1, что придает им оранжевый цвет [см. 3].

Интенсивность поглощения в области ниже 400 нм, а именно, в области 300–190 нм обычно свидетельствует о содержании влаги в образце или наличии в нем пустот (порового пространства), характеризующих сорбционную емкость. Из анализа данной области можно сделать вывод, что образцы под номером 5 являются более плотными, имеющими меньшую сорбционную емкость за счет

введения в него растительного масла со скипидаром и последующего процесса эпоксидирования. Образцы 2, 3 и 4 по степени рыхлости или сорбционной емкости представляются менее плотными, что вполне закономерно, т. к. после делигнификации обеспечивается открытый доступ к целлюлозе и гемицеллюлозе. Данные выводы коррелируют с полученными результатами по определению адгезии жидкостекольной композиции к древесному наполнителю, приведенными в таблице.

Растительные масла, богатые глицеридами жирных ненасыщенных кислот, достаточно легко поддаются эпоксидированию. Эпоксидированные растительные масла используются в качестве пластификаторов, стабилизаторов и модификаторов, а также отвердителей в производстве ряда пленкообразующих веществ. Масла после эпоксидирования практически не содержат двойных связей.

Известно, что при пропитке делигнифицированной древесины эпоксидной смолой деревянные образцы приобретают достаточно важную способность к светопропусканию. Такое свойство может быть обеспечено и при пропитке растительным маслом путем специальной технологической обработки после проведения эпоксидирования. С этой целью используют различные добавки, влияющие на скорость образования эпоксидных групп, например, пероксид водорода, мочевины, тионилхлорид, цвелево-кислый аммоний и др. Все исследования по проведению эпоксидирования проводились путем термообработки при различных температурах [5-8].

В наших исследованиях была использована композиция из растительного масла и скипидара, показавшая хорошие результаты при получении светопропускаемой древесины. В ходе испытаний фиксировались следующие свойства растительного масла: йодное число, эпоксидное число, вязкость, плотность, светопропускание. Критерием оценки являлись результаты исследования ИК-спектров, которые показывали появление полос поглощения в областях  $3600 \text{ см}^{-1}$ , характерных для гидроксильных групп,  $2720$  и  $2670 \text{ см}^{-1}$ , характерных для валентных колебаний карбоксильной группы [7]. Отмечено, что после прогрева композиции из 85% растительного масла и 15% скипидара при температуре 75–85 °С в течение 25–35 минут йодное число возрастает до 47–62, а эпоксидное число составляет от 14 до 18. При этом плотность композиции и светопропускание несколько возрастают, что свидетельствует о положительной роли пропитывающей композиции в улучшении свойств светопропускающей древесины.



Таблица. Адгезия древесного заполнителя со светопропускающим эффектом

№ партии	№ образца	Состояние древесины	Светопропускание, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Характер отрыва	Адгезионная прочность, МПа	
						Частные значения	Среднее
1	1	Естественное	0,00	0,50	Адгезионный	0,99	1,18
	2			0,53	Адгезионный	1,22	
	3			0,56	Адгезионный	1,34	
2	1	Делигнифицированное (отбеленное)	78,00-81,00	0,48	Адгезионный	0,74	0,63
	2			0,40	Адгезионный	0,70	
	3			0,50	Адгезионный	0,45	
3	1	Экстрагированное	84,00-87,00	0,47	<b>Когезионный</b>	<b>1,24</b>	<b>1,79</b>
	2			0,42	<b>Когезионный</b>	<b>2,03</b>	
	3			0,43	<b>Когезионный</b>	<b>2,11</b>	
4	1	Дегидратированное	86,00-89,00	0,50	Когезионный	1,03	1,08
	2			0,53	Адгезионный	0,99	
	3			0,50	Когезионный	1,21	
5	1	Инфильтрованное	85,00-87,00	0,60	Адгезионный	1,11	1,10
	2			0,64	Адгезионный	1,10	
	3			0,57	Адгезионный	1,10	
6	1	Инфильтрованное после термопрогрева	88,00-92,00	0,56	<b>Когезионный</b>	<b>1,29</b>	<b>1,57</b>
	2			0,58	<b>Когезионный</b>	<b>1,67</b>	
	3			0,58	<b>Когезионный</b>	<b>1,75</b>	

Эпоксидирование растительного масла в теле древесных образцов способствует не только повышению светопропускания, но и сказывается на адгезии древесного заполнителя со светопропускающим эффектом к жидкостеклольному вяжущему, что проявляется в характере отрыва индентора адгезиметра с чисто адгезионного к когезионному. Так, средняя величина адгезионной прочности возрастает по сравнению с неэпоксидированной растительно-масляно-скипидарной композицией на 30-40% (табл.).

Таким образом, можно сделать вывод, что прогрев пропитанной растительно-масляно-скипидарной композицией древесины позволяет обеспечить высокие прочностные свойства древесного композита при сохранении светопропускающей способности.

#### Библиографический список

1. Пичугин, А. П. Фотоэлектроколориметрическое изучение взаимодействия наполнителей с полимером / А. П. Пичугин, В. П. Князева // Вопросы гидромелиорации сельскохозяйственных земель в условиях Дальнего Востока. Том Выпуск 23. – Благовещенск : Без издательства, 1973. – С. 75-82. – EDN TDONDI.
2. Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – М.: Химия, 1978. – 330 с
3. Физико-химическая оценка влияния технологических факторов делигнификации на светопропускание древесины / А. П. Пичугин, Т.

В. Ларина, О. Е. Смирнова, С. Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 2(21). – С. 82-88. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_2\_82. – EDN IIOWIA.

4. Влияние наноразмерных добавок на адгезионную способность защитных полимерных покрытий / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, В. В. Банул, А. Ю. Кудряшов // Строительные материалы. – 2018. – № 1-2. – С. 39-44. – EDN YRQXUK.
5. Милославский, А. Г. Эпоксидирование растительных масел пероксидом водорода в присутствии вольфрамата натрия и четвертичных аммониевых солей: дис. канд. тех. наук: 05.17.04: защищена 17.12.2008: утв. 22.05.2009 / Милославский Алексей Геннадьевич. – Казань, 2008. – 139 с.
6. Эпоксидирование подсолнечного масла в системах на основе пероксида водорода и органических кислот / А. А. Сердюк, М. Г. Касянчук, И. А. Опейда [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Хімія і хімічна технологія". – 2014. – № 1(22). – С. 205-210. – EDN SEDTVJ.
7. Исследование эпоксидирования растительного масла / С. А. Бобровская, А. В. Ворошилова, А. Н. Шлеина, А. В. Протопопов // News of Science and Education. – 2017. – Т. 8, № 2. – С. 055-058. – EDN ZEQHUN.
8. Акаева, Т. К. Химия и технология пленкообразующих веществ : лабораторный



практикум / Т. К. Акаева, В. А. Козлов ;  
Ивановский гос. химико-технологический ун-т. -  
Иваново: Ивановский гос. химико-

технологический ун-т, 2008. - 99 с. ISBN 978-5-  
9610-0263-0

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 12.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 12.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.



УДК 691.11  
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура  
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия  
DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_44

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНОВОЛОКОННОЙ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

© Авторы, 2024  
SPIN: 6949-2994  
ORCID 0000-0003-4451-2297  
Scopus ID: 12645632400

**ЧУЛКОВА Ирина Львовна**  
доктор технических наук, профессор  
*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет*  
(Россия, Омск, e-mail: le5@inbox.ru)

SPIN: 4265-7935  
ORCID 0000-0002-8520-4453  
ResearcherID: AAB-3899-2021  
Scopus ID: 57076182100

**ИЛЬИНА Лилия Владимировна**  
доктор технических наук, профессор, директор Института цифровых инженерных технологий  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»*  
(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

**СЕЛИВАНОВ Игорь Алексеевич**  
соискатель  
*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет*  
(Россия, Омск, e-mail: igoralk2014@mail.ru)

**Аннотация.** Исследованиями показана возможность получения композиционного вяжущего вещества, включающего отход картонного производства - пульпу скопа (в качестве готового органоминерального комплекса) и портландцемент. Установлено, что замена до четверти портландцемента органоминеральным комплексом без дополнительной тепловой обработки, обеспечивает получение композиционного вяжущего вещества плотностью до 1623 кг/м<sup>3</sup> прочностью при сжатии до 39,50 МПа. Такой комплекс способен управлять гидратационными процессами в цементных композитах, изменять состав новообразований цементного камня при сохранении показателей качества. Позволяет расширить спектр направлений для повторного использования отходов в технологиях строительного материаловедения, что является одним из направлений стратегии развития промышленности строительных материалов в Российской Федерации на период до 2030 года.

**Ключевые слова:** отходы; пульпа скопа; структурообразование; фазовый состав; органоминеральный комплекс; физико-химические методы; строительные материалы

**Для цитирования:** Влияние органоволоконной добавки на структурообразование цементных композитов / И.Л. Чулкова, Л.В. Ильина, И.А. Селиванов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 44-51. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_44



## INFLUENCE OF AN ORGANOFILAMENT ADDITIVE ON THE STRUCTURE FORMATION OF CEMENT COMPOSITES

© The Author(s) 2024

**CHULKOVA Irina Lvovna**

doctor of technical sciences, professor  
*Siberian state automobile and highway University*  
(Russia, Omsk, e-mail: [le5@inbox.ru](mailto:le5@inbox.ru))

**ILINA Liliia Vladimirovna**

doctor of technical sciences, professor  
*Novosibirsk State Architectural and Construction University*  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: [nsklika@mail.ru](mailto:nsklika@mail.ru))

**SELIVANOV Igor Alekseevich**

applicant  
*Siberian state automobile and highway University*  
(Russia, Omsk, e-mail: [igoralk2014@mail.ru](mailto:igoralk2014@mail.ru))

**Abstract.** Studies have shown the possibility of obtaining a composite binder, including waste from cardboard production – pulp of scop (as a ready-made organomineral complex) and Portland cement. It was found that the replacement of up to a quarter of Portland cement with an organomineral complex without additional heat treatment provides a composite binder with a density of up to 1623 kg/m<sup>3</sup> with a compressive strength of up to 39.50 MPa. Such a complex is capable of controlling hydration processes in cement composites, changing the composition of cement stone neoplasms while maintaining quality indicators. It allows expanding the range of directions for the reuse of waste in building materials' science technologies, which is one of the directions of the strategy for the development of the building materials industry in the Russian Federation for the period up to 2030.

**Keywords:** waste; pulp of scop; structure formation; phase composition; organo-mineral complex; physical and chemical methods; building materials

**For citation:** Influence of an organofilament additive on the structure formation of cement composites / I.L. Chulkova, L.V. Ilyina, I.A. Selivanov // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 44-51 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_44

### *Введение*

Использование органоминеральных комплексов [1], состоящих из различных вариаций органических и мелкодисперсных минеральных добавок, в цементных композитах позволяет без ухудшения качества уменьшить расход портландцемента при производстве строительных материалов, а также снизить их себестоимость.

В качестве химических добавок органоминерального комплекса используются различные модифицированные пластификаторы, а в качестве мелкодисперсных добавок применяются реакционноспособные дисперсные минеральные компоненты высокой пуццолановой активности [2-3]. Таким образом, органоминеральный комплекс представляет собой искусственно полученную смесь из различных компонентов, управляющую процессами структурообразования.

Ряд современных исследований [4-7] показывают возможность использования в управлении гидратационными процессами при структурообразовании цементных композитов

отхода картонного производства - скопа в качестве готового органоминерального комплекса. Строительные материалы, полученные с заменой в составе сырьевой смеси скопом четверти массы минерального вяжущего вещества, по своим качественным показателям соответствуют требованиям ГОСТ, предъявляемым к аналогичным материалам, изготовленным из традиционных сырьевых компонентов.

Таким образом, на этапе производства происходит вовлечение многотоннажных отходов в повторное использование в качестве заменяющих компонентов в технологиях строительного материаловедения, что является одним из направлений стратегии развития промышленности строительных материалов в Российской Федерации на период до 2030 года.

### *Материалы и методы исследования*

Использованный в исследованиях скоп предприятия ООО «Пермский картон», представляет собой органоминеральный волокнистый [4-7] комплекс в виде высококонцентрированной пульпы



## Технические науки. Строительство и архитектура

с влагосодержанием 300% по массе, а также портландцемент ЦЕМ 0 32,5Н (ГОСТ 31108-2020) предприятия ООО «Горнозаводскцемент». Установлен схожий химический состав неорганических остатков материалов после прокаливания, табл. 1.

Смесь органоминерального комплекса из

пульпы скопа с портландцементом можно рассматривать в качестве композиционного вяжущего вещества [8-9]. Оптимальный состав композиционного вяжущего установили путём определения физико-механических показателей при испытании лабораторных образцов.

Таблица 1 - Химический состав минеральной части затвердевшей пульпы скопа и портландцемента

Материал	Химический состав минеральной части материала											
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	прочее
Скоп	3,470	2,040	0,294	0,128	2,220	0,734	0,273	0,107	0,735	0,707	0,263	88,96
ЦЕМ 0	24,53	55,73	2,52	-	6,88	1,45	-	-	5,43	2,19	-	1,25

Таблица 2 - Физико-механические показатели свойств образцов-цилиндров

№п /п	Количество компонентов, кг		Соотношение компонентов X <sub>1</sub> : X <sub>2</sub>	Среднее значение, 28 сут.		
	X <sub>1</sub> – цемент	X <sub>2</sub> – пульпа скопа		Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	К.К.К., 10 <sup>-2</sup>
1	1,00	1,00	1 : 1	29,96	1220	2,21
2	0,50	1,00	1 : 2	26,60	1100	2,42
<b>3</b>	<b>0,33</b>	<b>1,00</b>	<b>1 : 3</b>	<b>22,70</b>	<b>1059</b>	<b>2,14</b>
4	2,00	1,00	2 : 1	33,77	1462	2,30
5	0,50	0,75	2 : 3	27,76	1160	2,39
<b>6</b>	<b>3,00</b>	<b>1,00</b>	<b>3 : 1</b>	<b>39,47</b>	<b>1623</b>	<b>2,43</b>
7	0,75	0,50	3 : 2	31,36	1342	2,33
8	1,00	0	1 : 0	41,10	2270	1,81

Таблица 3 - Составы цементного камня

Соотношение компонентов композиционного вяжущего, (по массе, кг)	Состав цементного камня		
	Состав 0	Состав 1	Состав 2
Пульпа скопа	0	1	3
Портландцемент	1	3	1

Для экспериментов готовили образцы-цилиндры прессованием, высотой и диаметром 50 мм, из смеси, полученной перемешиванием пульпы скопа с портландцементом при соотношении компонентов 1:1, 1:2, 1:3, 2:3, 3:1, 2:1, 3:2 соответственно и контрольный образец из портландцемента. Твердение образцов происходило при нормальных условиях в течение 28 суток

Изготовление и испытание лабораторных образцов выполняли, используя стандартные методики, применяемые для строительных материалов. Также использовался комплекс высокоинформативных физико-химических методов анализа [10-11].

Перечень основных исследуемых свойств приняли в соответствии с ГОСТ 28013-98 «Растворы строительные». У образцов определяли прочность, плотность, коэффициент конструктивного качества (К.К.К.)

### Результаты и обсуждение

Из результатов исследования следует, что цементный камень с рациональными физико-механическими показателями формируется применением композиционного вяжущего вещества из цемента и пульпы скопа при соотношении компонентов 3:1 соответственно, при этом наблюдается наибольший К.К.К., табл. 2. Наименьший показатель К.К.К. наблюдается применением композиционного вяжущего вещества из цемента с пульпой скопа при соотношении компонентов 1:3 соответственно, табл. 2. Для дальнейших исследований приняты составы цементного камня, представленные в таблице 3.

Исследованиями установлен медленный набор прочности на начальном этапе образцов-цилиндров, изготовленных прессованием смеси органоминерального комплекса с портландцементом состава 1 (табл.3, рис. 1).

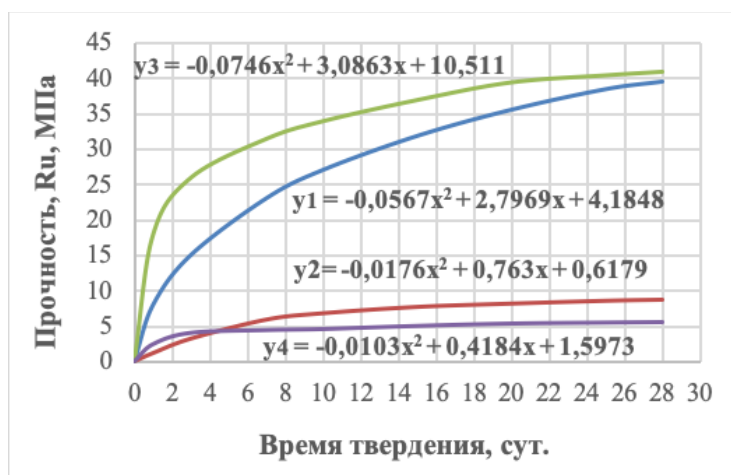


Рис. 1. Зависимость прочности от времени твердения образцов-цилиндров:

Состав 1, цемент:скоп=1:3:  
1 – при сжатии; 2 – при изгибе;  
Состав 0, цемент:скоп=1:0:  
3 – при сжатии; 4 – при изгибе

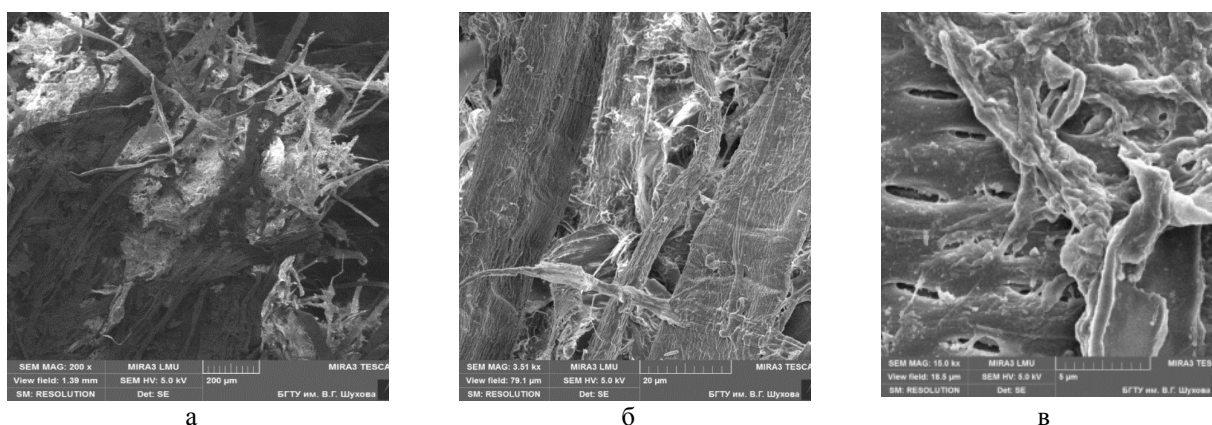


Рис. 2. Структура затвердевшей пульпы скопа: а – микроструктура затвердевшей пульпы скопа; б, в – морфология поверхности волокон

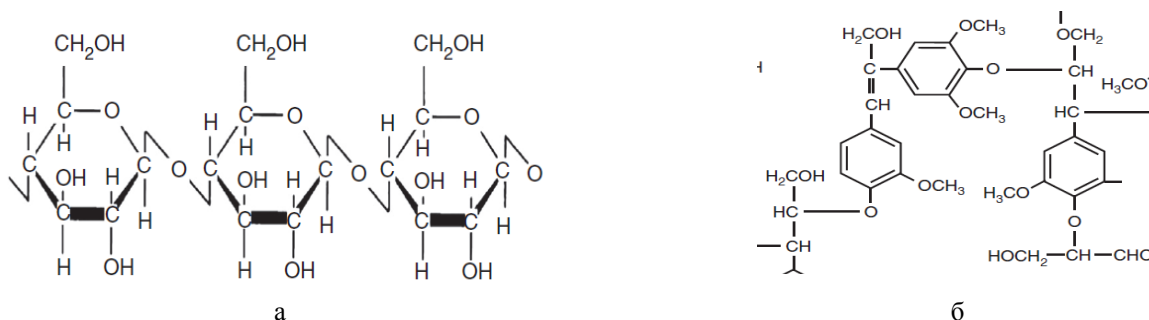


Рис. 3 Схематическое представление фрагментов структуры целлюлозы (а) и лигнина (б)

Изучение микроструктуры пульпы скопа и гидратационных процессов в цементных композитах с пульпой скопа позволили объяснить выявленные особенности набора прочности образцами (рис. 1).

Микроструктуру затвердевшей пульпы скопа исследовали методом сканирующей электронной микроскопии [5]. Установлено, что за-твер-девшая пульпа скопа представ-ляет собой волокнистый материал, в котором целлюлозные нити соеди-нены

в ленты и пучки за счёт при-родного клея лигнина (рис. 2).

Целлюлоза волокон представляет собой полимер на основе глюкозы линейного строения. Отдельные нити соединяются между собой множеством водородных связей, на которых возможна адсорбция воды (рис. 3, а). Лигнин представляет собой сложную смесь ароматических

полимеров родственного строения, объединённых в макромолекулы (рис. 3, б) [12].

С помощью лазерного анализатора размеров частиц FRITSCH Analysette 22 NanoTecplus были оценены размерные параметры частиц пульпы скопа и портландцемента. Согласно полученным результатам, размеры частиц затвердевшей пульпы скопа оказались значительно крупнее зерен цемента (рис. 4, 5). Диапазон размеров частиц добавки

составляет от 0,1 до 600 мкм с модой в области 75 мкм. Преобладающая усреднённая ширина лент целлюлозы пульпы скопа составляет порядка 20 мкм.

Используемый портландцемент имеет более узкое распределение частиц по размерам (от 0,1 до 150 мкм) (рис. 4, 5). Для порошка цемента характерно двумодальное распределение с размерами около 17 и 60 мкм (рис. 4).

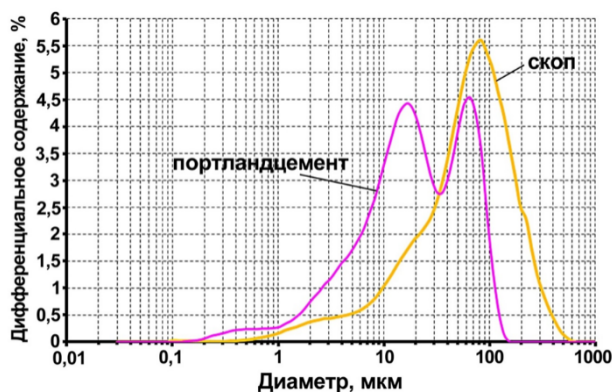


Рис. 4. Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам исходного портландцемента и затвердевшей пульпы

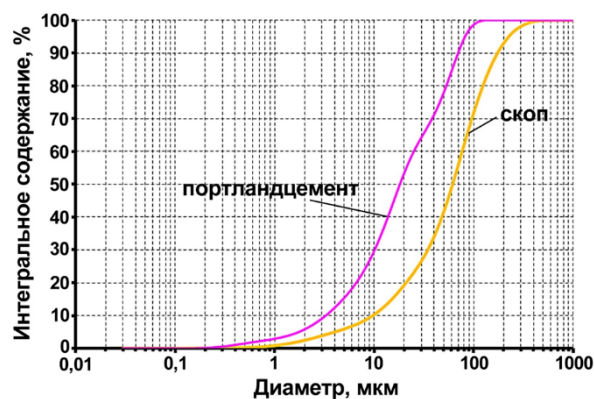


Рис. 5. Интегральная кривая распределения частиц по размерам исходного портландцемента и затвердевшей пульпы скопа

Удельная поверхность цемента, рассчитанная из данных лазерной дифракции, составила ( $101,58 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ), в пересчете на  $\text{м}^2/\text{кг}$  (при плотности цемента  $\sim 3 \text{ г}/\text{см}^3$ ) – 338,6, что соответствует обычной дисперсности цемента. Средний размер частиц портландцемента составляет 18,17 мкм. Можно предположить хорошую совместимость пульпы скопа и портландцемента в силу схожести химических составов.

Важнейшим аспектом управления гидратационными процессами при структурообразовании цементного камня, полученного из смеси портландцемента с пульпой скопа, будет являться взаимодействие волокнистого армирующего компонента пульпы с цементной системой на разных этапах формирования композита.

Наличие новообразований исследовалось методом электронной сканирующей микроскопии (рис. 6, 7, 8).

Основную массу новых фаз (состав 0) представляют гидросиликаты кальция различного

состава и морфологии, которые растут на подложке из исходных цементных зерен (силикатов кальция) (рис. 6, а, б). Из кристаллических новообразований следует выделить портландит (рис. 6, в, г) и продукты его карбонизации – карбонаты кальция в виде кальцита (рис. 6, в) [13-15].

Исследованиями показано, что цементный камень состава 1 обладает достаточно плотной структурой, мало отличающейся от контрольного образца состава 0. Низкая пористость системы положительно влияет на ее прочность.

В цементном камне состава 1 присутствуют аналогичные составу 0 новообразования (рис. 7). Однако, хорошо кристаллизованных гидросиликатов кальция (C-S-H) игольчатой формы не наблюдается. Имеются только глобулярные наноразмерные фазы, являющиеся рентгеноаморфными, представляющие собой зародыши кристаллов C-S-H (рис. 7, а). Из прочих фаз можно диагностировать пластинчатые фазы портландита (рис. 7, б) и кубические образования кальцита (рис. 7, в).

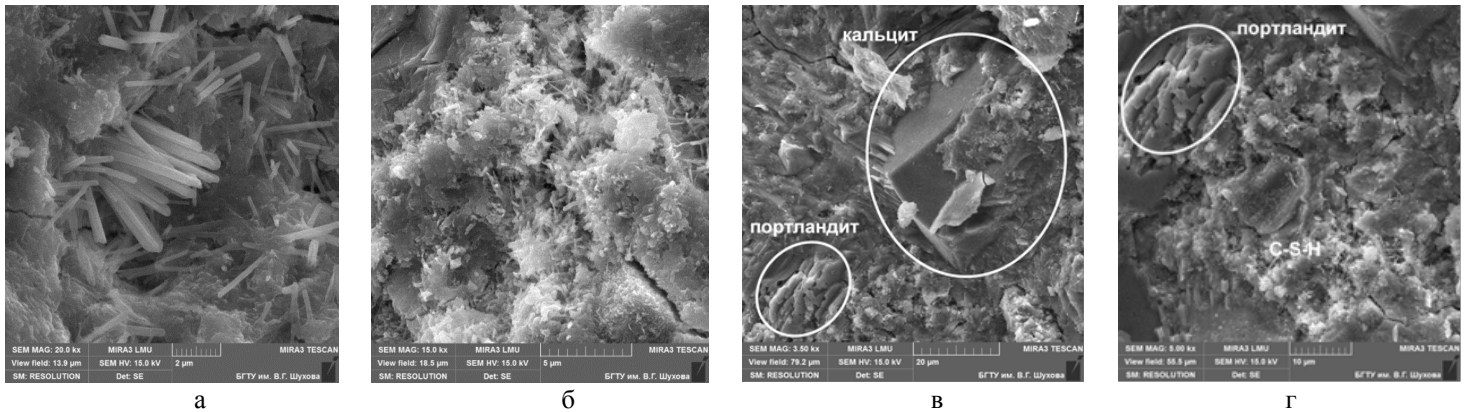


Рис. 6. Новообразования в структуре бездобавочного цементного камня, 28 сут:  
а, б – гидросиликаты кальция различной морфологии; в, г – кристаллические фазы портландита и кальцита

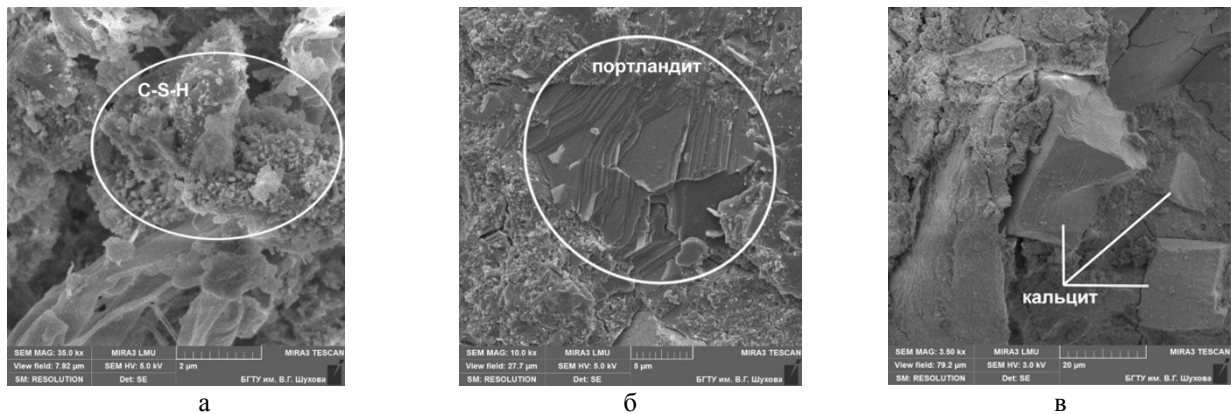


Рис. 7. Новообразования в структуре цементного камня, состав 1(цемент:скоп=3:1), 28 сут:  
а – гидросиликаты кальция; б – кристаллы портландита; в – фазы кальцита

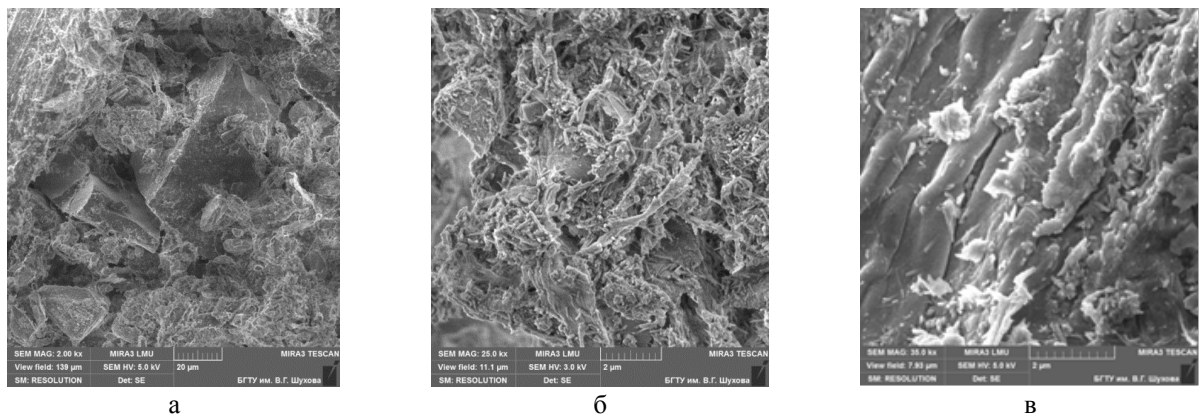


Рис. 8. Фазы цементного камня, состав 2 (цемент:скоп=1:3), 28 суток:  
а – непрогидратировавшие зерна силикатов кальция;  
б – мелкодисперсные новообразования в структуре цементного камня;  
в – поверхность волокон целлюлозы, покрытая продуктами взаимодействия с цементом или кристалликами карбоната кальция

Структура цементного камня состава 2 отличается от структур образцов составов 0 и 1 (рис. 8). Основная масса цементного камня состава 2 представлена непрогидратировавшими частицами цемента – силикатами кальция (рис. 8, а). Из новообразований следует выделить большое

количество мелкодисперсных фаз, которые можно отнести как к минералам карбоната кальция (кальциту и ваттериту), так и продуктам реакции между кислотными соединениями органической добавки и щелочью цемента  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (рис. 8, б, в).



Исследованиями установлено, что формирование структуры цементных композитов из смеси пульпы скопа с портландцементом происходит ступенчато. Первоначально перемешиванием влагонасыщенной пульпы скопа с портландцементом создаются специфические условия для формирования новых соединений – первичных гидросиликатов кальция, обладающих большой цементирующей способностью. Происходит корректировка классического процесса перехода ионов  $\text{Ca}^{2+}$  из кристаллической решетки цементных минералов в воду и начала образования иглообразных кристаллов. В силу слабодиссоциирующей природы пульпы скопа, а также наличия лигнина, как поверхностно-активного вещества, образование иглообразных кристаллов затрудняется. Это происходит из-за формирования на поверхности цементных частиц оболочки из водоотталкивающего электростатического слоя, препятствующего проникновению воды к поверхности частиц и затрудняющего процесс перехода ионов  $\text{Ca}^{2+}$  из кристаллической решетки цементных минералов в дисперсную среду – воду. Наблюдается торможение гидратационных процессов и вместо иглообразных кристаллов гидросиликатов кальция образуются глобулярные наноразмерные рентгеноаморфные фазы, в виде зародышей кристаллов C-S-H (рис. 7, а).

В последствии, в силу неизбежности развития гидратационных процессов, водоотталкивающий электростатический слой на поверхности цементных частиц разрушается, адсорбционная способность лигнина нивелируется. В условиях повышающейся щелочности среды вокруг цементных частиц начинает образовываться иона насыщенная гелеобразная оболочка. Гидрофильность и влагоёмкость волокон пульпы скопа способствуют снижению количества негидратированных цементных частиц. На фоне повышения щелочности среды наблюдается интенсификация гидратационных процессов. В щелочной среде происходит растворение компонентов минерального состава пульпы скопа. Растворившиеся компоненты способны к образованию с ионами кальция, поступившими из портландцемента, дополнительного цементирующего материала, из-за которого концентрации гидросиликатов кальция в составе 1 увеличиваются [5-7].

### Выводы

По результатам исследований установлено, что применение пульпы скопа возможно в качестве органоминерального комплекса и совместно с портландцементом позволяет получать композиционное вяжущее. Органоминеральный комплекс может управлять гидратационными процессами при структурообразовании цементных композитов, но его количество следует лимитировать. Показано, что при замене четверти цемента органоминеральным комплексом (портландцемент : пульпа скопа равным 3:1) значительных изменений в составе новообразований цементного камня не наблюдается. В данном случае волокна пульпы скопа дополнительно выступают в

качестве своеобразной «арматуры» при структурообразовании и повышают прочностные показатели композитов при растяжении на изгиб. В составе с большим содержанием пульпы скопа (портландцемент к пульпе скопа 1:3) процессы гидратации вяжущего замедляются и основной минеральной фазой наблюдаются карбонаты кальция.

### Библиографический список

1. Гувалов, А. А. Влияние органоминеральной добавки на раннюю гидратацию цемента / А. А. Гувалов, А. В. Кабусь, А. В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2013. – № 9. – С. 94-95. – EDN RBTTWB.
2. Гувалов, А. А. Влияние модификатора на свойства цементных суспензий / А. А. Гувалов, Т. В. Кузнецова // Строительные материалы. – 2013. – № 8. – С. 86-88. – EDN RAWWEJ.
3. Гувалов, А. А. Управление структурообразованием цементных систем с полифункциональными суперпластификаторами / А. А. Гувалов // Техника и технология силикатов. – 2011. – Т. 18, № 3. – С. 24-27. – EDN OCQBDN.
4. Селиванов И.А. Исследование гидратации портландцемента с добавкой пульпы скопа / И.А. Селиванов, И.Л. Чулкова // Архитектурно-дорожный и дорожно-транспортный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. – Омск: Изд-во ИПК СиБАДИ, 2024
5. Чулкова, И. Л. Изучение структурообразования органоминеральных композиций с волокнистым наполнителем методом электронной микроскопии / И. Л. Чулкова, И. А. Селиванов, В. Д. Галдина // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 12. – С. 41-47. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.12.41-47. – EDN JBATOА.
6. Чулкова, И. Л. Исследование продуктов твердения органоминеральных композиций с волокнистым наполнителем методом инфракрасной спектроскопии / И. Л. Чулкова, И. А. Селиванов, В. Д. Галдина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 10(730). – С. 15-27. – DOI 10.32683/0536-1052-2019-730-10-15-27. – EDN JPRAWG.
7. Селиванов, И. А. Исследование влияния добавки скопа на структурообразование цементного камня термическими методами / И.А. Селиванов, И.Л. Чулкова // Архитектурно-дорожный и дорожно-транспортный



- комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ». – Омск: Изд-во ИПК СибАДИ, 2021. С. 682-687.
8. Сулейманова, Л. А. Применение композиционных вяжущих в технологии ячеистого бетона / Л. А. Сулейманова, И. А. Погорелова, М. В. Марушко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 2. – С. 10-16. – DOI 10.12737/article\_5a816bda646a22.41029804. – EDN CVUCWM.
  9. Чулкова, И. Л. Использование скопа в качестве вяжущего вещества / И. Л. Чулкова, И. А. Селиванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 2(78). – С. 204-215. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-2-204-215. – EDN RPXEKI.
  10. Применение методов термического анализа при исследовании цементного камня / Г. В. Плотникова, Л. В. Дашко, В. Ю. Ключников, В. Д. Синюк // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2013. – № 2(65). – С. 47-54. – EDN ТРНАОТ.
  11. Макарова, И. А. Физико-химические методы исследования строительных материалов / И. А. Макарова, Н. А. Лохова ; И. А. Макарова, Н. А. Лохова ; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высшего проф. образования "Братский гос. ун-т". – Братск : Изд-во Братского гос. ун-та, 2011. – ISBN 978-5-8166-0323-2. – EDN QNPWNP.
  12. Watkins D., Nuruddin Md., Hosur M., Tcherbi-Narteh A., Jeelani S. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *J Mater Res Technol.* 2015;4(1): 26–32.
  13. Belkowitz J.S., Armentrout D. An investigation of nano silica in the cement hydration process. *Concrete Sustainability Conference.* 2010.
  14. Садрашева, А. О. Гидросиликаты кальция (C-S-H) как основная фаза твердения портландцемента / А. О. Садрашева // Ползуновский альманах. – 2016. – № 3. – С. 193-196. – EDN XQXZIT.
  15. Muser B., Stark J. A New Model to Ordinary Portland Cement Hydration Derived by means of ESEM-FEG. *Mater. Sct. Concr., Special Volume, Amer. Ceram. Soc.* (2002), pp. 89–107.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.

Научная статья

УДК 69.07:531.395

ГРНТИ: 30.19 Механика деформируемого твердого тела; 67 Строительство и архитектура

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела; 2.1.9. Строительная механика

DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_52

## ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ В НЕЛИНЕЙНОДЕФОРМИРУЕМОМ ТЕЛЕ. ЧАСТЬ 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧНОСТИ БЕТОНА

© Авторы, 2024

SPIN: 7143-6599

**КРУГЛОВ Валерий Михайлович**

доктор технических наук, профессор

*Российский университет транспорта (МИИТ)*

*(Россия, Москва)*

SPIN: 1382-2917

**БАКУШЕВ Сергей Васильевич**

доктор технических наук, профессор

*Пензенский государственный университет архитектуры и*

*строительства (Россия, Пенза)*

SPIN: 7553-3901

**ШЕИН Александр Иванович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Механика»

*Пензенский государственный университет архитектуры и*  
*строительства*

*(Россия, Пенза, e-mail: shein-ai@yandex.ru)*

SPIN: 4425-5045

ORCID 0000-0001-8407-8144

ScopusID: 56662851300

**ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович**

академик РААСН, доктор технических наук, профессор

*Национальный исследовательский Московский государственный*  
*строительный университет*

*(Россия, Москва, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)*

SPIN: 5983-9985

**АЛЬ ДУЛАЙМИ Салман Давуд Салман**

кандидат технических наук

*Министерство высшего образования и научных исследований Ирака*

*(Ирак, Багдад)*

SPIN: 1669-0740

**ТОМИЛОВ Антон Алишерович**

научный сотрудник

*Российский университет транспорта (МИИТ)*

*(Россия, Москва)*

**Аннотация.** Часть 3 статьи посвящена нахождению аналитической функции для параметров пластичности бетона. Выбор аппроксимирующих уравнений для параметров  $\varphi$  и  $\psi$ , учитывающих развитие неупругих деформаций в бетоне, основан на следующих гипотезах и предпосылках: относительные изменения объема и сдвиг на октаэдрических площадках являются непрерывными нелинейными функциями среднего напряжения, октаэдрического касательного напряжения и вида напряжённого состояния; физические соотношения в начальной точке деформирования должны соответствовать формулам линейной теории упругости; обеспечивается переход от кривых деформирования и условию прочности бетона; теоретические кривые объёмного и сдвигового деформирования проходят через экспериментальные точки, характерные для начала микротрещинообразования. Последнее условие при этом обеспечивается введением в функциональные



зависимости для параметров пластичности предельных секущих модулей объёмного и сдвигового деформирования.

Предложенные нелинейные зависимости для тяжёлого бетона высоких классов прочности позволяют получить решения не только для объёмного состояния материала, но и для других случаев сопротивления бетона.

**Ключевые слова:** нелинейно-деформируемое твердое тело; бетон; теоретические и экспериментальные зависимости; границы микро- и макротрещинообразования; параметры пластичности бетона; аналитические функции; аппроксимирующие уравнения; механика деформируемого твердого тела

**Для цитирования:** Зависимости между напряжениями и деформациями в нелинейнодеформируемом теле. Часть 3. Аналитические функции для параметров пластичности бетона / В.М. Круглов, С.В. Бакушев, А.И. Шейн, В.Т. Ерофеев, С.Д.С. Аль Дулайми, А.А. Томилов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 52-59. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_52

Original article

## RELATIONSHIPS BETWEEN STRESSES AND DEFORMATIONS IN A NON-LINEAR DEFORMABLE BODY. PART 3. ANALYTICAL FUNCTIONS FOR PARAMETERS OF CONCRETE'S PLASTICITY

© The Author(s) 2024

**KRUGLOV Valery Mikhailovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor

*Federal State Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (MIIT) (Russia, Moscow)*

**BAKUSHEV Sergey Vasilyevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor

*Penza State University of Architecture and Construction (Penza, Russia)*

**SHEIN Alexander Ivanovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanics

*Penza State University of Architecture and Construction (Penza, Russia, e-mail: shein-ai@yandex.ru)*

**EROFEEV Vladimir Trofimovich**

Academician of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor

*National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, Moscow, e-mail: erofeevvt@bk.ru)*

**AL DULAIMI Salman Dawood Salman**

Candidate of Technical Sciences

*Ministry of Higher Education and Scientific Research of Iraq (Iraq, Baghdad)*

**TOMILOV Anton Alisherovich**

Research Associate

*Federal State Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (MIIT) (Russia, Moscow)*



**Abstract.** Part 3 of the article series is devoted to finding an analytical function for parameters of concrete's plasticity. The selection of approximating equations for  $\varphi$  and  $\psi$  parameters, taking into account the development of inelastic deformations in concrete, is based on the following hypotheses and assumptions: relative volume changes and shear on octahedral platforms are continuous nonlinear medium voltage functions, octahedral tangent stress and stress state; physical ratios at the starting point of deformation must correspond to the formulas of linear theory of elasticity; the transition from deformation curves and the condition of strength of concrete is ensured; theoretical volumetric and shear deformation curves pass through experimental points characteristic for the beginning of microfracturing. The latter condition is ensured by introducing into the functional dependencies for the plasticity parameters of the limit secant modules of bulk and shear deformation.

The proposed non-linear dependencies for heavy concrete of high strength classes provide solutions not only for the volume condition of the material, but also for other cases of concrete resistance.

**Keywords:** non-linear deformable solid body; concrete; theoretical and experimental dependencies; boundaries of micro- and macro-fracturing; parameters concrete's plasticity; analytical functions; approximating equations; mechanics of deformable solid body

**For citation:** Relationships between stresses and deformations in a non-linear deformable body. Part 3. Analytical functions for parameters of concrete's plasticity / V.M. Kruglov, S.V. Bakushev, A.I. Shein, V.T. Erofeev, S.D.S. Al Dulaimi, A.A. Tomilov // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 52-59 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_52

### *Введение*

Первая [см. 14] и вторая [см. 15] части статьи опубликованы ранее.

Применительно к теории железобетона, как на это показывает практика проектирования и расчёта железобетонных конструкций, требуется разработка более совершенных, надежных и экономичных методов и норм проектирования, отвечающих основным требованиям, предъявляемым к железобетонным конструкциям. Наиболее важным в этом направлении является учет специфических особенностей деформирования конструкций, особенно в области действия предельных уровней напряжений. Как известно, одной из основных характеристик напряженно-деформированного состояния является эпоха нормальных напряжений в сечении бетонных и железобетонных элементов. Существующие расчетные схемы недостаточно четко учитывают действительную картину напряженного состояния, идеализируют физическую модель железобетона, в единообразной форме не учитывают нелинейность и неравномерность деформирования. Кроме того, не в полной мере учитывается фактор времени действия напряжений.

В общем случае к нелинейным расчётам железобетонных конструкций относятся, вообще говоря, все виды расчета по СНИП и СП, а также решение геометрически и физически нелинейных задач различными численными методами [1-3]. В работе [4] выдвинуто предположение об эквивалентности формы записи замыкающих уравнений. Предположенная гипотеза позволила не только получить расчетные уравнения для некоторых математических моделей сплошной среды при нелинейно упругом деформировании, но кроме того, построить критерии прочности для геометрически нелинейных моделей сплошных сред, разработать геометрически нелинейный вариант деформационной теории пластичности, рассмотреть

вопросы распространения геометрически нелинейных волн деформаций, а также численно получить законченное решение некоторых задач механики деформируемого твердого тела с учетом геометрической и физической нелинейности. Анализ математических моделей геометрически нелинейной модели сплошной среды выполнялся на базе геометрически нелинейных анализов математических моделей, описываемых: уравнениями физически линейной теории упругости [5]; уравнениями теории малых упругопластических деформаций [6]; уравнениями деформационной теории пластичности [7].

### *Методы*

Выбор аппроксимирующих уравнений для параметров пластичности  $\varphi$  и  $\psi$  учитывающих развитие неупругих деформаций в бетоне, основывается на следующих гипотезах и предпосылках:

- относительное изменение объёма  $3\varepsilon_0$  является непрерывной нелинейной функцией среднего напряжения  $\sigma_0$  и вида напряженного состояния  $\mu_\sigma$ ;
- сдвиг на октаэдрических площадках  $\gamma_0$  является непрерывной нелинейной функцией октаэдрического касательного напряжения  $\tau_0$  и вида напряженного состояния  $\mu_\sigma$ ;
- основные физические соотношения в начальной точке деформирования должны соответствовать формулам теории линейной упругости;
- обеспечивается возможность непосредственного перехода в предельном состоянии от кривых деформирования к условию прочности бетона.

Кроме того, при выборе аналитических выражений для параметров пластичности  $\varphi$  и  $\psi$

учитывались некоторые особенности нелинейного деформирования бетона. В частности, учитывалось, что кривые  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  и  $\tau_0 \sim \gamma_0$  должны проходить через точки, отвечающие началу образования макротрещин – выраженных нарушений структуры бетона (рис. 3.1, 3.2). Это условие обеспечивалось

введением в функциональные зависимости для параметров  $\varphi$  и  $\psi$  предельных секущих модулей  $\bar{K}_s$  и  $\bar{G}_s$  (см. рис. 3.1).

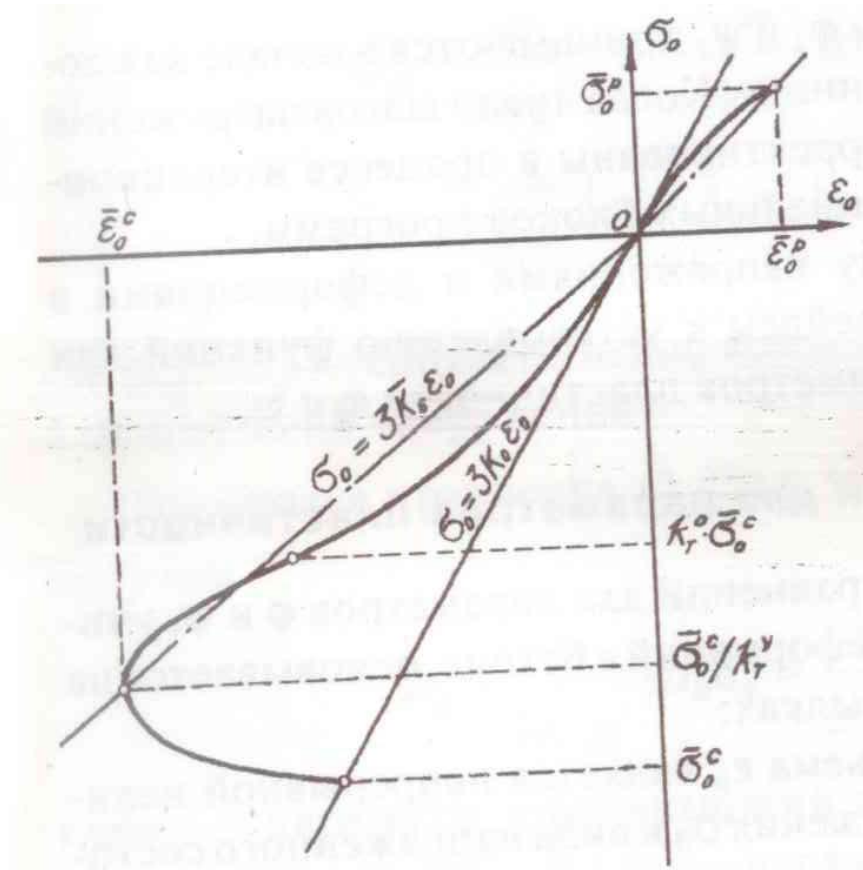


Рис. 3.1 Общий вид зависимостей  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$

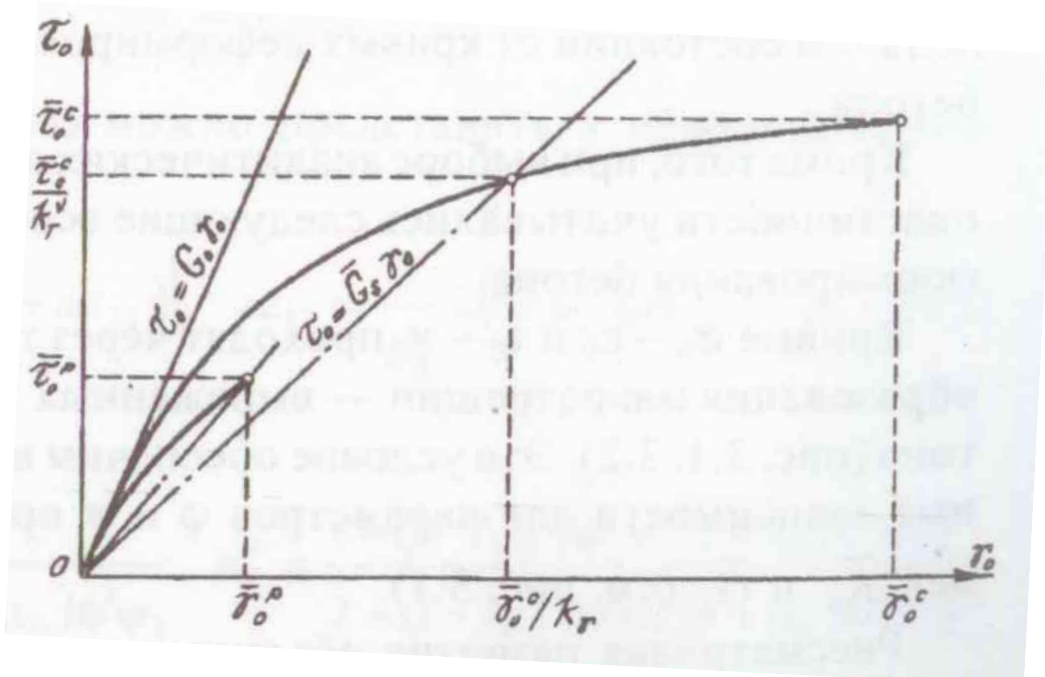




Рис. 3.2. Общий вид зависимостей  $\tau_0 \sim \gamma_0$

Результаты проведения исследований и их анализ

Рассматривая развитие объёмных нелинейных деформаций (см. рис. 3.1.) в зависимости от относительного уровня  $\sigma_0^* = \frac{\sigma_0}{\bar{\sigma}_0}$ , параметра  $\mu_\sigma$  и отношения  $\frac{\bar{\sigma}_0}{\tau_0}$  для бетонов разной прочности (B20...B70) по данным экспериментальных исследований [8-12] можно выделить некоторые характерные признаки кривых  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$ . В частности, при низких уровнях  $\sigma_0^* (\sigma_0 < 0)$  кривая близка к линейной зависимости. Для больших значений  $\sigma_0^*$  прослеживается существенная нелинейность, причем до уровня  $\sigma_0^* = K_T^0 = (0,7 \dots 0,8)$  кривая выпукла, а выше него до уровня  $\sigma_0^* = (1/k_T^v)$  – вогнута ( $k_T^v \geq 1$ ). Можно считать, что вблизи  $\sigma_0^* = K_T^0 = (0,7 \dots 0,8)$  находится точка образования микротрещин [9; 11], а уровню  $\sigma_0^* = \frac{1}{k_T^v}$  соответствует образование микротрещин. Этап деформирования, связанный с развитием дилатации бетонных образцов [12], позволяет отметить, что максимальную величину октаэдрическое нормальное напряжение достигает в точке пересечения кривой  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  и прямой  $\sigma_0 = 3K_0 \varepsilon_0$ . При напряжениях  $\sigma_0 > 0$  кривую  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  отличает слабая нелинейность. Для этой области характерным является совпадение границ микро - и макротрещинообразования.

Зависимостям  $\tau_0 \sim \gamma_0$  в области растягивающих напряжений и чистого сдвига для  $\sigma_0 \geq 0$  отвечает слабая нелинейность, а максимальным деформациям соответствует образование макротрещин. При значениях  $\sigma_0 < 0$  кривые  $\tau_0 \sim \gamma_0$  существенно нелинейны, а предельные деформации превышают деформации макротрещинообразования.

Для определения константы С необходимо сформулировать ещё одно условие – условие существования перегиба функции  $\varepsilon_0 = f(\sigma_0)$  в точке микротрещинообразования при относительном напряжении  $\sigma_0^* = k_T^v$ . Выполнение этого требования приводит к нелинейному уравнению вида

$$\frac{2k_T^0 c}{1 - K_0/\bar{K}_s} - \frac{2k_T^0 c^2}{1 - e^{c(k_T^v-1)}} + \left\{ \frac{1}{(1 - K_0/\bar{K}_s)^2} + \frac{c^2}{1 - e^{c(k_T^v-1)}} - \frac{c(1 + K_0/\bar{K}_s) + 1 - e^{c(k_T^v-1)}}{(1 - K_0/\bar{K}_s)[1 - e^{c(k_T^v-1)}]} \right\} \times [1 - e^{c(k_T^v-k_T^v)}] + (k_T^0 c)^2 = 0. \quad (3.6)$$

Вместе с тем, многочисленные тестовые расчёты показали, что при использовании выражения (3.1) удовлетворительное совпадение теоретических зависимостей с экспериментальными данными достигается при  $c = 2$  и  $b = 4$  [13]. Окончательно уравнение (3.1) примем в форме

$$\varphi = 1 + a \left( \frac{\bar{K}_0}{K_s} - 1 \right) \left( \frac{k_T^v \sigma_0}{\bar{\sigma}_0} \right)^b, \quad (3.7)$$

где  $a = \frac{1 - e^{2k_T^v(-\sigma_0 \bar{\sigma}_0^{-1} + 1)}}{1 - e^{2(k_T^v-1)}}$ .

При этом величина  $k_T^v$  может быть определена по формуле

Выбор аналитических функций

С учётом сделанных предпосылок и отмеченных свойств для зависимости  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$ , уравнение аналитического выражения параметра пластичности  $\varphi$  примем в виде

$$\varphi = 1 + \frac{K_0}{\bar{K}_s} A e^{ck_T^v \sigma_0^*} k_T^v (\sigma_0^*)^b - \frac{K_0}{\bar{K}_s} D (\sigma_0^*)^b. \quad (3.1)$$

Первое слагаемое уравнение (3.1) обеспечивает соответствие кривой  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  в начальной точке деформирования формулам теории упругости. Два других отвечают нелинейному развитию деформаций и процессу дилатации в бетоне при высоких уровнях напряжений. Неизвестные константы А, D, b, входящие в формулу (3.1), получим из решения системы уравнений, сформированной при выполнении следующих условий.

1. Условие прохождения кривой  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  через точку макротрещинообразования. Это приводит к уравнению

$$\bar{K}_s/K_0 + A e^c - D - 1 = 0. \quad (3.2)$$

2. Условие экстремума функции  $\varepsilon_0 = f(\delta_0)$  в точке макротрещинообразования при  $\sigma_0 = \bar{\sigma}_0/k_T^v$ . Тогда имеем

$$\bar{K}_s/K_0 + A(b+c+1)e^c - D(b+1) = 0. \quad (3.3)$$

3. Условие пересечения прямой  $\sigma_0 = 3K_0 \varepsilon_0$  и кривой  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  при величине октаэдрического нормального напряжения равной предельному значению ( $\bar{\sigma}_0$ ):

$$A e^{ck_T^v c} k_T^v (b+1) - D(k_T^v)^{(b+1)} = 0. \quad (3.4)$$

Из соотношений (3.2), (3.3) и (3.4) получаем значения констант А, D, b:

$$A = \frac{(1 - \bar{K}_s/K_0)e^{-c}}{1 - e^{c(k_T^v-1)}}; \quad D = A e^{ck_T^v};$$

$$b = \frac{1}{\bar{K}_s/K_0 - 1} - \frac{c}{1 - e^{c(k_T^v-1)}}. \quad (3.5)$$

$$k_T^v = 1 + \frac{1}{2} \ln \left[ 1 + \frac{2(1 - K_s/\bar{K}_0)}{5 - 4K_s/\bar{K}_0} \right]. \quad (3.8)$$

В области чистого сдвига и растягивающих напряжений при  $\sigma_0 \geq 0$  величины  $a, b$  и  $k_T^v$  принимаются равными единице.

Теоретические кривые  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  при использовании параметра  $\varphi$  в виде (3.7) изображены на рис. 3.3. Приведённые кривые соответствуют различным значениям соотношения  $\sigma_0/\tau_0$  для области всестороннего сжатия бетона. Здесь для сравнения показаны опытные точки по экспериментам А.В. Яшина [10]. Теоретические кривые  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$  рассчитаны для бетона с

характеристиками, близкими к опытным образцам  
А.В. Яшина.

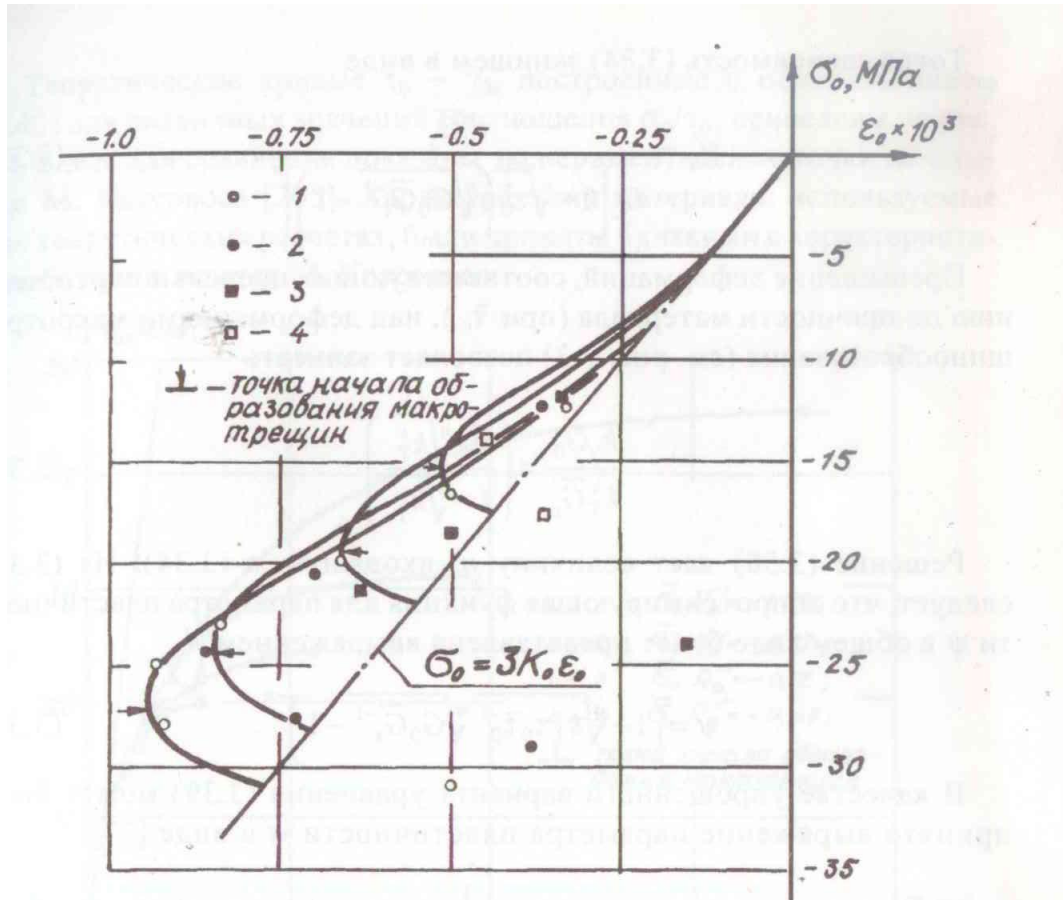


Рис. 3.3. Теоретические кривые  $\sigma_0 \sim \epsilon_0$  в сравнении с экспериментами А.В. Яшина [10] при соотношениях напряжений  $\sigma_3 : \sigma_2 : \sigma_1$ :  
1 — 1 : - 0,032 : - 0,032; 2 — 1 : - 0,09 : - 0,09; 3 — 1 : - 0,15 : - 0,09;  
4 — 1 : - 0,125 : - 0,0125

Для выбора функциональной связи параметра пластичности  $\psi$ , который учитывает развитие неупругих деформаций в зависимости  $\tau_0 \sim \gamma_0$  для области  $\sigma_0 < 0$ , поступим следующим образом. Представим зависимость  $\tau_0 \sim \gamma_0$  в относительных величинах  $\bar{\tau}_0^* = \frac{\tau_0}{\bar{\tau}_0}$  и  $\bar{\gamma}_0^* = \frac{\gamma_0}{\bar{\gamma}_0}$  в следующем виде:

$$\bar{\tau}_0^* = \frac{K\bar{\gamma}_0^*}{(1 + \sqrt{\bar{\gamma}_0^* m^{-1}})^n}, \quad (3.8)$$

где  $m, K$  и  $n$  – константы, определяемые на основе сделанных выше предпосылок, то есть.

1. Соответствие уравнения (3.8) в начальной точке деформирования формулам теории упругости (см. рис.3.2) обеспечивается при  $\bar{\gamma}_0^* = 0$  выполнением условия:

$$\frac{d\bar{\tau}_0^*}{d\bar{\gamma}_0^*} = \frac{K}{(1 + \sqrt{\bar{\gamma}_0^* m^{-1}})^{n+1}} = K = \frac{G_0}{\bar{\sigma}_s}. \quad (3.9)$$

2. Прохождение кривой  $\bar{\tau}_0^* \sim \bar{\gamma}_0^*$  через точку макротрещинообразования (см. рис. 3.2) с учётом (3.9) даёт зависимость для коэффициента  $m$ :

$$m = (\sqrt[n]{G_0 \bar{\sigma}_s^{-1}} - 1)^{-n}. \quad (3.10)$$

Тогда зависимость (3.8) запишем в виде

$$\bar{\gamma}_0^* = \frac{\tau_0^* \bar{\sigma}_s}{G_0 \left[ 1 + \sqrt[n]{\bar{\tau}_0^*} (\sqrt[n]{G_0 \bar{\sigma}_s^{-1}}) \right]^n}. \quad (3.11)$$

3. Превышение деформаций, соответствующих предельному состоянию по прочности материала (при  $\bar{\tau}_0$ ), над деформациями макротрещинообразования (см. рис.3.2) позволяет записать

$$\frac{k_\gamma G_0}{k_T^* \bar{\sigma}_s} = \left( \frac{1 - \sqrt[n]{k_T^*}}{1 - \sqrt[n]{k_\gamma}} \right)^n. \quad (3.12)$$

Решение (3.12) даёт величину  $n$ , входящую в (3.8).

Из (3.11) следует, что аппроксимирующая функция для параметра пластичности  $\psi$  в общем виде может быть представлена выражением

$$\psi = \left( 1 + \sqrt[n]{k_T^* \tau_0 \bar{\tau}_0^{-1} \sqrt[n]{G_0 \bar{\sigma}_s^{-1}}} - 1 \right)^{-n}. \quad (3.13)$$

В качестве упрощённого варианта может быть принято выражение параметра пластичности  $\psi$  в виде [13]

$$\psi = \frac{1}{\sqrt[1+n]{1 + \sqrt[n]{k_T^* \tau_0 \bar{\tau}_0^{-1}} [(G_0 \bar{\sigma}_s^{-1})^2 - 1]}}, \quad (3.14)$$

$$\text{где } n = \frac{\ln(k_T^{\nu})}{\ln\left\{\left[\frac{k_T^{\nu} \bar{G}_s}{k_T \bar{G}_0}\right]^2 - 1\right\} \left[\left(\bar{G}_0 \bar{G}_s^{-1}\right)^2 - 1\right]^{-1}}.$$

При этом коэффициент  $k_T$ , характеризующий уровень предельных деформаций в зависимости  $\tau_0 \sim \gamma_0$ , может быть вычислен по формуле

$$k_T = 1 - \frac{(a_1 + 1) \bar{\sigma}_0 R_b^{-1}}{1 - a_1 \bar{\sigma}_0 R_b^{-1}}, \quad (3.15)$$

в которой величина  $a_1 = 10$  определена из условий наилучшей аппроксимации опытных данных.

Для области всестороннего растяжения и чистого сдвига (при  $\sigma_0 \geq 0$ ) константа  $n$  в выражении (3.14) принимается равной единице.

Теоретические кривые  $\tau_0 \sim \gamma_0$ , построенные с использованием

(3.14) для различных значений соотношения  $\sigma_0 / \tau_0$ , приведены на рис. 3.4. Здесь для сравнения показаны экспериментальные точки по опытам М. Котсовоса [11]. Характеристики материала, используемые при теоретических расчётах, были приняты близкими к характеристикам бетона в опытах М. Котсовоса.

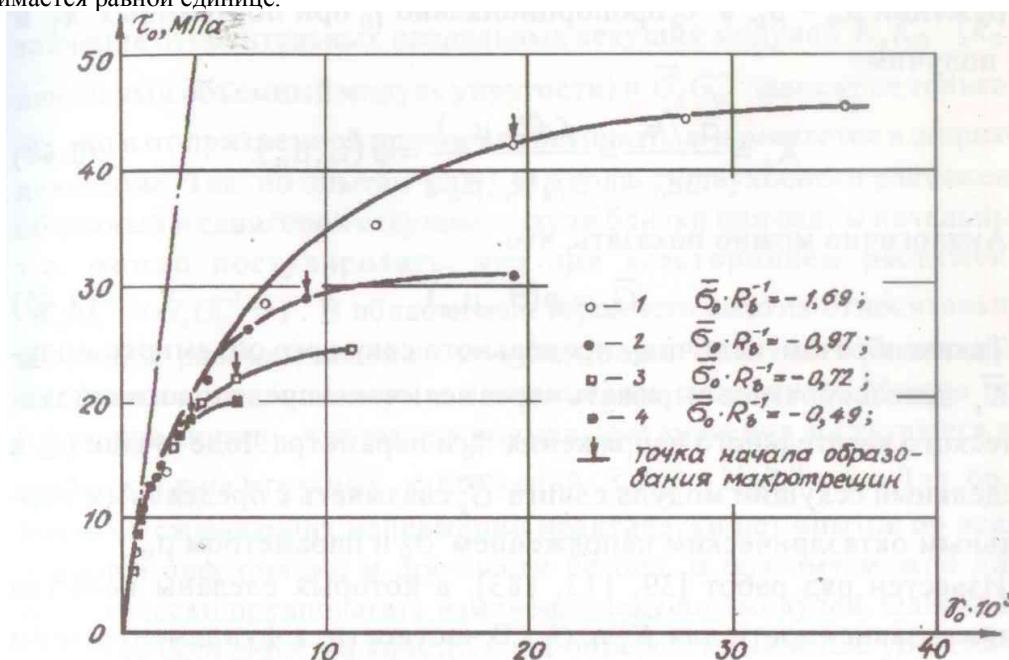


Рис.3.4. Теоретические кривые  $\tau_0 \sim \gamma_0$  в сравнении с экспериментами М. Котсовоса [11]

Таким образом, уравнениями (3.7) и (3.14) выражаются параметры, учитывающие развитие неупругих деформаций в зависимостях  $\sigma_0 \sim \varepsilon_0$ ,  $\tau_0 \sim \gamma_0$ . В эти уравнения входят величины предельных секущих модулей  $\bar{K}_s$  и  $\bar{G}_s$ , не являющиеся константами, вообще говоря.

### Выводы

1. На основании учёта некоторых особенностей нелинейного деформирования бетона построены аналитические выражения для параметров пластичности  $\varphi$  и  $\psi$ .

2. Предложенные нелинейные зависимости для тяжёлого бетона высоких классов прочности позволяют получить решения не только для объёмного состояния материала, но и в более простых случаях: плоского напряжённого состояния и плоско-деформированного состояний, а также построить упрощённые решения для других случаев сопротивления бетона.

### Библиографический список

1. Иванов, С. П. Решение физически нелинейной плоской задачи теории упругости и ее приложение к расчету балок, контактирующих со средой / С. П. Иванов, М. Н. Ахметшин //

Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. – № 2. – С. 33-36. – EDN OUWXVJ.

2. Протосеня, А. Г. Расчет нагрузок на крепь выработок и тоннелей, сооружаемых в физически нелинейных массивах / А. Г. Протосеня, В. И. Семенов, И. К. Супрун // Записки Горного института. – 2012. – Т. 199. – С. 173-175. – EDN QLIGEF.
3. Протосеня, А. Г. Физически нелинейно-пластическая задача о распределении напряжений вокруг выработки кругового очертания / А. Г. Протосеня // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 43-48. – EDN RYJFEF.
4. Бакушев, С. В. Вариант построения расчетных моделей геометрически-нелинейных сплошных сред / С.В. Бакушев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1991. – № 9. – С. 24-29.
5. Каудерер Г. Нелинейная механика. - М: Изд-во иностр. литературы. - 1961. – 780 с.



6. Пластичность / Ильюшин А. А. - М. ; Л. : ОГИЗ. Гостехиздат, 1948. Ч. 1 : Упруго-пластические деформации. - 1948. - 376 с.
7. Гениев, Г.А. К вопросу о деформационной теории пластичности сыпучей среды / Г.А. Гениев // Строительная механика и расчет сооружений. - 1974. - №4. - С.8-10.
8. Берг О.А., Соломенцев Г.Г. Исследование напряжённого и деформированного состояния бетона при трёхосном сжатии // Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений: сб. ст. – М., 1969. - Вып. 70. – С.106-123.
9. Берг, О. А. Высокопрочный бетон / Д-р техн. наук, проф. О. Я. Берг, кандидаты техн. наук Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко ; Под ред. д-ра техн. наук, проф. О. Я. Берга. – М.: Стройиздат, 1971. - 208 с.
10. Яшин, А. В. Критерии прочности и деформирования бетона при простом нагружении для различных видов напряжённого состояния / А.В. Яшин // Расчет и конструирование железобетонных конструкций. - М., 1977. - С. 48-57.
11. Kotsovos M. D. A mathematical Model of the Deformational Behavior of Concrete under Generalized Stress Based on Fundamental Material Properties // Material et Construction. - 1980. -13. - Pp. 289-298.
12. Kupfer H.B. Das Nicht – linear Verhalten des Betons bei Zweiachsiger Beanspruchung // Beton und Stahlbetonbau. – 1973. - №11. - Pp. 269-274.
13. Круглов, В. М. Нелинейные соотношения и критерий прочности бетона в трёхосном напряжённом состоянии / В.М. Круглов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1987. – № 1. – С. 40-48.
14. Зависимости между напряжениями и деформациями в нелинейнодеформируемом теле. Часть 1. Основные принципы и соотношения механики деформируемого твердого тела / В. М. Круглов, С. В. Бакушев, А. И. Шеин [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 154-163. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_4\_154. – EDN BEHQSQ.
15. Зависимости между напряжениями и деформациями в нелинейнодеформируемом теле. Часть 2. Деформационная теория пластичности бетона при простом нагружении / В. М. Круглов, С. В. Бакушев, А. И. Шеин [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 1(24). – С. 84-91. – DOI 10.51608/26867818\_2024\_1\_84. – EDN DZFCTD.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 17.01.2024; одобрена после рецензирования 25.03.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 17.01.2024; approved after reviewing 25.03.2024; accepted for publication 17.05.2024.



Научная статья

УДК 69.04

ГРНТИ: 30.19 Механика деформируемого твердого тела; 67 Строительство и архитектура

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 2.1.9. Строительная механика

DOI 10.51608/26867818\_2024\_2\_60

## МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА. ЧАСТЬ 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА

© Авторы 2024

SPIN: 4845-3197

**СЕЛЯЕВ Владимир Павлович**

академик РААСН, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

*Российская академия архитектуры и строительных наук;*

*Национальный исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва*

*(Россия, Саранск, e-mail: ntorm80@mail.ru)*

SPIN: 7034-9735

**СЕЛЯЕВ Павел Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные  
конструкции»

*Национальный исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва*

*(Россия, Саранск)*

SPIN: 5073-7377

**БАБУШКИНА Дельмира Рафиковна**

аспирант кафедры «Строительные конструкции»

*Национальный исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва*

*(Россия, Саранск; e-mail: delmira2009@yandex.ru)*

**Аннотация.** В статье, которая состоит из трех частей, рассмотрена возможность построения теории механики разрушения бетона на принципах: разрушение бетона происходит под влиянием процессов, протекающих на различных масштабных уровнях; структура бетона при всей ее неоднородности может быть описана аналитически, на основе методов фрактальной геометрии Б. Мандельброта; разрушение структуры бетона можно описать с применением модели А. Гриффитса.

Приводятся экспериментальные данные, подтверждающие правомерность применения предложенных принципов.

**Ключевые слова:** бетон; строительная механика; фрактальная геометрия; механика разрушения; структура; напряжения; деформации; масштабные уровни; механика деформируемого твердого тела

**Для цитирования:** Механика разрушения бетона. Часть 1. Основные принципы построения теории разрушения бетона / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Бабушкина Д.Р. // Эксперт: теория и практика. 2024. № 2 (25). С. 60-64. doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_60



Original article

## THE MECHANICS OF CONCRETE DESTRUCTION. PART 1. THE BASIC PRINCIPLES OF THE THEORY OF CONCRETE DESTRUCTION

© The Author(s) 2023

**SELYAEV Vladimir Pavlovich**

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of "Building Structures"  
*Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;*  
*National Research Mordovian State University*  
*named after N.P. Ogarev*  
(Russia, Saransk, e-mail: [ntorm80@mail.ru](mailto:ntorm80@mail.ru))

**SELYAEV Pavel Vladimirovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the  
Department of "Building Structures"  
*National Research Mordovian State University*  
*named after N.P. Ogarev*  
(Russia, Saransk)

**BABUSHKINA Delmira Rafikovna**

PhD Candidate  
*National Research Mordovian State University*  
*named after N.P. Ogarev*  
(Russia, Saransk; e-mail: [delmira2009@yandex.ru](mailto:delmira2009@yandex.ru))

**Abstract.** The article, which consists of three parts, discusses the possibility of constructing a theory of the mechanics of concrete destruction based on the principles: the destruction of concrete occurs under the influence of processes occurring at various scale levels; the structure of concrete, with all its heterogeneity, can be described analytically, based on the methods of fractal geometry of B. Mandelbrot; the destruction of the structure of concrete can be described using the model A. Griffiths.

Experimental data confirming the validity of the application of the proposed principles are presented.

**Keywords:** concrete; construction mechanics; fractal geometry; fracture mechanics; structure; stresses; deformations; scale levels; mechanics of deformable solid body

**For citation:** Selyaev V.P., Selyaev P.V., Babushkina D.R. The mechanics of concrete destruction. Part 1. The basic principles of the theory of concrete destruction // Expert: theory and practice. 2024. № 2 (25). Pp. 60-64 (InRuss.). doi 10.51608/26867818\_2024\_2\_60

Бетон – искусственный камень, который изначально имеет грубогетерогенную, неоднородную структуру, содержащую множество дефектов различного уровня и генезиса: включения в цементную матрицу зерен заполнителя; поры и раковины, заполненные воздухом и водой.

Формирование и развитие теоретических основ механики разрушения бетона должно базироваться на экспериментальных данных о закономерностях развития процессов изменения напряжений, деформаций, структуры, формы образцов материала под действием механических нагрузок, агрессивных сред, температуры и других внешних воздействий.

Аналитические модели механики разрушения бетона невозможно построить без связи

современных достижений в области механики сплошной среды, физики, математики, химии, материаловедения.

Современная теория разрушения бетона до сих пор строилась на гипотезах классической механики деформируемого твердого тела, согласно которым твердое тело представляется бесструктурным, сплошным, абсолютно однородным, изотропным.

Разрушение рассматривается как мгновенный акт, который наступает, как только некоторый критерий разрушения достигнет предельного значения.

Первым подобную модель разрушения твердого тела предложил Г. Галилей, которого принято считать родоначальником науки о разрушении



твердых тел. Под разрушением понимается разделение образца, изделия, на отдельные части, которое происходит под действием предельных нормальных напряжений в какой-либо точке изделия.

Позднее были предложены и другие подобные критерии разрушения в виде предельных значений: относительных деформаций; касательных напряжений; изменения формы [1].

Вопросы прочности, деформативности и разрушения твердых тел всегда входили в круг интересов как античных, так и современных ученых [2].

Однако, до настоящего времени не существует единой и работоспособной теории разрушения.

Многочисленные исследования прочности и условий разрушения бетона выявили достаточно серьезные расхождения между теоретическими и экспериментальными результатами [3-5].

При расчете железобетонных конструкций предлагается рассматривать разрушение как предельное состояние в расчетном сечении. Этот подход вполне приемлем при расчете конструкции, изделия на макромасштабном уровне. Но в условиях применения бетона для изготовления конструкций, с повышенным уровнем надежности, возрастают требования: по сплошности материала; по управлению процессом разрушения; обеспечения безопасности конструкции, с учетом разрушения структуры на микромасштабном уровне.

Для повышения надежности железобетонных конструкций, по мнению О.Я. Берга, необходимо разработать аналитический способ определения начала процесса микротрещинообразования в бетоне под нагрузкой [5].

Экспериментально установлено, что разрушение бетона сложный эволюционный процесс, который развивается во времени и при этом на разных масштабных уровнях структуры могут действовать одновременно несколько механизмов разрушения: хрупкий, пластический, отрывной, сдвиговой. Поэтому при теоретическом обосновании механики разрушения бетона следует учитывать: 1. Особенности структуры бетона; 2. Разрушение, это процесс образования новых поверхностей; 3. Дискретный характер разрушения бетона.

Современные модели деформирования и разрушения материалов подобных бетону, горным породам, предлагается строить на предположениях: о блочно-иерархическом строении структуры; о наличии дефектов структуры в виде трещин, раковин, пор. Впервые эти модели были предложены в работах академиков М.А. Садовского, В.И. Соломатова [6; 10].

Садовский М.А. считает, что горная порода изначально имеет блочно-иерархическую структуру, которая содержит множество дефектов и построена по принципу «блок в блоке» [6].

Естественная фрагментарность строения структуры горных пород отмечается в работах М.В. Курленя, В.Н. Опарина [7], Л.Н. Федорова, М.А. Брука [8], А.Н. Чанышева, О.Е. Белоусова [9]. Экспериментально установлено, что в процессе

нагрузки дезинтеграция структуры горных пород прогрессирует, возникает дискретная иерархия фрагментов, блоков с определенной последовательностью преимущественных размеров [6-7].

Подобные концепции формирования структуры в бетоне и других строительных композитах рассматривались в работах В.И. Соломатова, С.М. Скоробогатова, Е.М. Чернышева, В.П. Селяева. В.И. Соломатов одним из первых предложил рассматривать бетоны как композиты, структура которых сформирована по принципу «структура в структуре» или «композит в композите» [10-14].

С.М. Скоробогатов, развивая идеи С.А. Садовского утверждает, что железобетон имеет блочную структуру с коэффициентом соотношения смежных блоков – 7, 9 [13].

Е.М. Чернышев предлагает рассматривать несколько масштабных уровней структуры бетона (мега-, микро-, субмикро-, нано), формирование которых связано с системой дефектов, неоднородностей. Размеры блоков структуры на каждом масштабном уровне соотносимы с размерами и характеристиками включений в матричной субстанции того или иного уровня [14].

В результате приведенного анализа литературных данных можно утверждать, что природные и искусственные композиционные материалы, бетоны – это материалы, структурные системы которых неоднородны, сформированы по принципу «структура в структуре», «блок в блоке».

Для математического описания многомасштабных, неоднородных структур и систем Б. Мандельброт в 1975 году предложил фрактальную геометрию, основанную на введении двух аксиом – о многомасштабности и самоподобии неупорядоченных, нецельноразмерных, дробных, фрагментарных пространств, с размерностью не совпадающей с размерностью Евклидова пространства, в котором они существуют [15].

Под многомасштабностью (по Ричардсону) понимается зависимость измеряемой характеристики  $N$  объекта от разрешающего масштаба  $\alpha$  измерительного прибора. Число масштабов зависит от количества масштабных уровней измерения и описывается степенной функцией, показатель которой называется фрактальной размерностью объекта ( $D$ ).

Зависимость между измеряемой характеристикой и масштабом измерения принято называть законом Мандельброта-Ричардсона и выражать степенной функцией вида:

$$N = c (\alpha)^{d-D}, \quad (1)$$

где  $N$  – измеряемая характеристика;  $\alpha$  – масштаб измерений;  $d, D$  – размерность объекта соответственно в Евклидовом ( $d = 1, 2, 3$ ) и фрактальном пространстве.

Фрактальные объекты как в целом, так и любые их фрагменты имеют одну и ту же размерность (свойство самоподобия). Математическая формулировка этого свойства имеет вид:

$$\beta N = c (\beta \alpha)^{d-D}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – масштабный множитель.

Если объект обладает свойствами многомасштабности и самоподобия, то является фрактальным и объективной характеристикой такого объекта является фрактальная размерность (fractus – дробный, ломанный). Под фракталом принято понимать множество, размерность которого строго меньше его топологической размерности. Фрактальной называется структура, которая состоит из частей, которые в каком-то смысле подобны целому.

Для обоснования фрактального строения структуры цементного бетона в НИ МГУ им. Н.П. Огарева проведены экспериментальные исследования по определению фрактальной размерности структуры цементных бетонов различного состава.

Л.М. Ошкина экспериментально исследовала поровую структуру цементного бетона и установила: фрактальная размерность исследуемых составов изменяется в пределах от 2,03 до 2,55; численное значение фрактальной размерности не зависит от масштабного уровня и имеет одинаковые размеры при 10 и 20 кратном увеличении масштаба; на величину фрактальной размерности влияет степень наполнения, крупность зерен заполнителя [16].

Зависимость фрактальной размерности структуры цементного камня от степени наполнения, соотношения цемент/песок исследована Л.И. Куприяшкиной [17]. Получена корреляционная степенная зависимость между прочностью и фрактальной размерностью  $D$ . Повышение  $D$  соответствует уменьшению прочности.

Экспериментальными исследованиями установлено, что в структуре бетона на разных масштабных уровнях содержатся дефекты различной формы и размеров.

Колосов Г.В. в 1909 году теоретически обнаружил резкий пик напряжений, в точках на границе отверстия, которые являются инициаторами разрушения. В объеме реального твердого тела, под действием внешних нагрузок, возникают напряжения разного уровня. Поэтому в некоторых точках, на определенном масштабном уровне развиваются пластические деформации, разрушаются связи между частицами материала, образуются новые поверхности. Поэтому разрушения структуры бетона начинается в условиях, когда средние по площади (объему) напряжения не достигли предельных значений.

Решению задачи о прочности твердого тела с трещиной посвящено множество работ, но наибольшую известность приобрела модель А. Гриффитса в силу физической прозрачности и математической простоты решения [18].

Выделим из твердого тела структурный элемент в виде пластины, содержащий дефект-трещину размером  $2\ell$  (см. рис. 1). А. Гриффитс предполагал, что при росте трещины энергия релаксации упругих связей ( $u$ ) переходит в энергию вскрывающихся

поверхностей (А). Тогда критическую длину трещины  $\ell_0$  и критическое напряжение  $\sigma_0$  можно определить из условия:

$$\frac{\partial(A-u)}{\partial\ell} = \frac{\partial(4\gamma\ell - \pi\sigma^2\ell^2/E)}{\partial\ell} = 0, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – плотность поверхностной энергии;  $E$  – модуль упругости материала матрицы.

Из решения уравнения (3) следует:

$$\ell_0 = 2\gamma E/\pi\sigma^2; \quad \sigma_0 = \sqrt{2\gamma E/\pi\ell}, \quad (4)$$

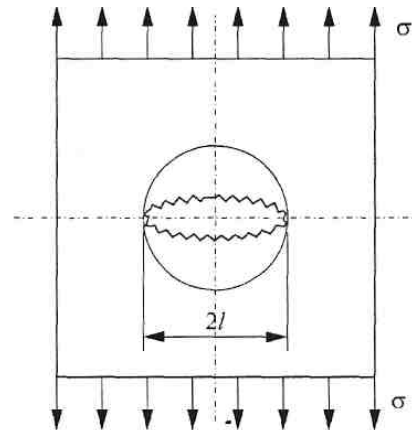


Рис. 1. Модель Гриффитса SOS (solid on solid).

Исходя из краткого обзора следует, что при формировании модели механики разрушения бетона необходимо учитывать:

1. Разрушение бетона происходит под влиянием процессов, протекающих на различных масштабных уровнях, путем реализации различных механизмов разрушения;
2. Структура бетона неоднородная, многомасштабная, многоуровневая, состоит из матрицы, наполнителей, заполнителей, пор, пустот и других включений, различных по фазовому состоянию, химическому составу. Аналитическое описание структуры бетона возможно на основе методов фрактальной геометрии;
3. Разрушение структуры бетона на различных масштабных уровнях можно описать с применением модели А. Гриффитса.

#### Библиографический список

1. Тимошенко, С. П. Механика материалов / С. П. Тимошенко, Дж. Гере; Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука; Под ред. Э. И. Григолюка. – Изд. Мир, 1976. – 669 с.
2. Карташов, В. А. Из истории учения о прочности и деформативности тел / В. А. Карташов; Науч. ред. В. П. Селяев. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 1991. – 176 с.



3. Бондаренко, В. М. Диалектика механики железобетона / В. М. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 2002. – №1. – С. 24-27.
4. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 412 с.
5. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона/ О. Я. Берг. – М.: Стройиздат, 1961. – 96 с.
6. Садовский, М. А. О свойстве дискретности горных пород / М. А. Садовский, Л. Г. Болховитинов, В. Ф. Писаренко // Физика земли. – 1982. – №12. – С. 3-18.
7. Курленя, М. В. О масштабном факторе явления зональной дезинтеграции горных пород и канонических рядов атомно-ионных радиусов / М. В. Курленя, В. Н. Опарин // ФТПРПИ. – 1996. – №12. – С. 3-14.
8. Федоров, Л. Н. От естественной кусковатости в природе к модели разрушения горных пород / Л. Н. Федоров, М. Л. Брук // Записки Горного института. – 2007. – Т. 171. – С. 144-150.
9. Чанышев, А. И. Блочно-иерархическая модель деформирования и разрушения горных пород. Экспериментальная проверка и теоретический анализ / А. И. Чанышев, О. Е. Белоусова // ФТПРПИ. – 2003. – №3. – С. 73-84.
10. Соломатов, В. И. Структурообразование, технология и свойства полимербетонов: Автореферат дис. на соискание ученой степени д. т. н./ Моск. ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Кафедра «Строит. конструкции». – М.: 1972. – 25 с.
11. Соломатов, В. И. Теоретические основы создания композитов по принципу образования «Структуры в структуре» // Современные строительные композиты и их технология: Проблемы и перспективы развития / В. И. Соломатов, В. П. Селяев и др.; Под ред. В.П. Селяева. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 1994.
12. Селяев, В. П. Физико-химические основы механики разрушения цементных композитов / В. П. Селяев, П. В. Селяев. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2018. – 220 с. – ISBN 978-5-7103-3639-7. – EDN YNPHZJ.
13. Скоробогатов, С. М. Катастрофы и живучесть железобетонных сооружений : (классификация и элементы теории) / С. М. Скоробогатов ; С. М. Скоробогатов ; Федеральное агентство ж.-д. трансп., Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Уральский гос. ун-т путей сообщ.. – Екатеринбург : Уральский гос. ун-т путей сообщ., 2009. – 511 с. – ISBN 978-5-94614-114-7. – EDN QNONHL.
14. Чернышов, Е. М. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории / Е. М. Чернышов, Е. И. Дьяченко, А. И. Макеев. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. – 98 с. – ISBN 978-5-89040-406-0. – EDN YSUZQL.
15. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Бенуа Б. Мандельброт; Пер. с англ. А.Р. Логунова. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
16. Селяев, В. П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В. П. Селяев, В. И. Соломатов, Л. М. Ошкина. – Саранск : Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2001. – 150 с. – ISBN 5-7103-0631-2. – EDN RUUGYN.
17. Куприяшкина, Л. И. Наполненные цементные композиции : монография / Л. И. Куприяшкина. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2007. – 180 с. – ISBN 978-5-7103-1570-5. – EDN TIUYUD.
18. Griffith, A.A. The theory of rupture // In: Proc., Ist., Int., Congr., Appl., Mech. – Delft. 1924. – P. 55-63.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 17.05.2024.

## РЕЦЕНЗИИ

Рецензия

УДК 69

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия; 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.9. Строительная механика

### РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ РАХИМОВА Р.З., РАХИМОВОЙ Н.Р. «ИСТОРИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ»

© Автор, 2024

SPIN: 1041-9513

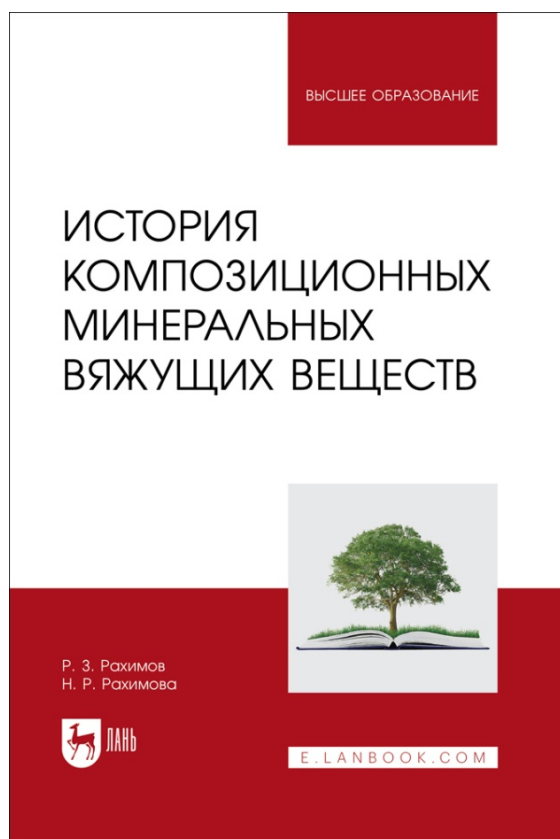
ORCID: 0000-0002-6512-5803

**АНПИЛОВ Сергей Михайлович**

Заслуженный изобретатель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»*

*(Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@gmail.com)*



Эффективное использование минеральных вяжущих веществ и их сырьевых ресурсов определяет в значительной мере современное и будущее экологически безопасное и устойчивое развитие земной цивилизации. Труды, посвященные истории минеральных вяжущих веществ, развития их исследований и разработок, периодически публикуются в отечественных и зарубежных изданиях.

В СССР в 1963 году Институтом истории естествознания и техники АН СССР была

опубликована первая фундаментальная работа И. А. Значко-Яворского «Очерки истории вяжущих веществ» с древнейших времен до середины XIX века.

В учебном пособии Рахимова Р. З. и Рахимовой Н. Р. «История композиционных минеральных вяжущих веществ» представлен фундаментальный анализ истории производства и применения, научных исследований и разработок минеральных вяжущих веществ с древнейших времен до начала 3-го десятилетия XXI века с учетом зарубежных и отечественных достижений, а также результатов собственных исследований и разработок. Приведены сведения о происхождении и запасах природных и техногенных сырьевых ресурсов производства минеральных вяжущих; истории и перспективах их применения, научных исследований и разработок; разновидностях глиняных, гипсовых, известковых, магнезиальных, клинкерных, малоклинкерных, бесклинкерных, смешанных, фосфатных, кислотоупорных кремнеземистых, серных, малоэнергоёмких, шлакощелочных, гибридных вяжущих и геоцементов; минеральных и химических добавках к вяжущим и материалам на их основе. Наряду с источниками мировой специальной литературы авторами использованы результаты собственных многолетних исследований и разработок композиционных вяжущих веществ.

Рецензируемое учебное пособие авторов Рахимова Р. З., Рахимовой Н. Р. «История композиционных минеральных вяжущих веществ» представляет несомненную ценность для инженерно-технических и научных работников, индивидуальных предпринимателей и обучающихся в области строительства, архитектуры, химии производства и применения строительных материалов, соответствует всем предъявляемым требованиям к работам такого рода и может быть рекомендована к опубликованию.



**REVIEW**  
**OF THE MONOGRAPH BY RAKHIMOV R.Z., RAKHIMOVA N.R.**  
**"HISTORY OF COMPOSITE MINERAL BINDERS"**

© The Author(s) 2024

**ANPILOV Sergey Mikhailovich**

Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof. of the Department

*Novosibirsk State Architectural and Construction University*

*(Russia, Novosibirsk, e-mail: anpilovsm@gmail.com)*

The efficient utilization of mineral binders and their commodities has a significant impact on the present and future ecologically safe and sustainable development of Earth civilization. Studies pertaining to the history of mineral binders, their research and evolution, are regularly published in both domestic and foreign editions.

In the USSR in 1963, the Institute of History of Natural History and Technology of the USSR Academy of Sciences published the first fundamental work of I. L. Znachko-Yavorsky "Essays on the history of binders from ancient times to the middle of the 19th century".

R. Z. Rakhimov and N. R. Rakhimova's textbook "History of Composite Mineral Binders" provides a fundamental analysis of the history of production and use, research and development of mineral astringent substances from the earliest times to the beginning of the 3rd decade of the 21st century, considering foreign and domestic achievements, as well as the results of their own research and development. Information on the origin and reserves of natural and man-made raw materials of mineral binder production; history and prospects of their application, research and development; varieties of clay, gypsum, lime, magnesium, clinker, low-clinker, clinker-free, mixed, phosphate, acid-resistant silica, sulfur, low-energy-intensive, slag, hybrid binder and geocement; mineral and chemical additives to binders and materials on their basis. In addition to sources of world-specialized literature, the authors used the results of their own long-term research and development of composite binders.

The reviewed textbook "History of Composite Mineral Binders" by R. Z. Rakhimov and N. R. Rakhimova is of undoubted value for engineering, technical and scientific workers, individual entrepreneurs, and students in the fields of construction, architecture, chemistry of production and use of building materials. The monograph meets all the requirements for such works and can be recommended for publication.

Рецензия поступила в редакцию 25.04.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The article was submitted 25.04.2024; accepted for publication 17.05.2024.



УДК 69

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия; 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.9. Строительная механика

**РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ  
РАХИМОВА Р.З., РАХИМОВОЙ Н.Р., ОЖОВАНА М.И.  
«СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ИММОБИЛИЗАЦИИ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ЗАЩИТЕ ОТ РАДИАЦИИ»**

© Автор, 2024

SPIN: 1041-9513

ORCID: 0000-0002-6512-5803

**АНПИЛОВ Сергей Михайлович**

Заслуженный изобретатель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»*

*(Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@gmail.com)*

Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Ожован М.И.

**Строительные материалы  
в иммобилизации радиоактивных отходов  
и защите от радиации**



С середины 20-го века существование и развитие человеческой цивилизации в значительной мере связаны с развитием атомной промышленности и энергетики, применением источников излучения в

различных отраслях хозяйства и в здравоохранении. Вместе с тем, это развитие сопровождается беспокоящей все человечество проблемой предотвращения все возрастающего загрязнения биосферы радиоактивными отходами.

Россия является одной из ведущих стран мира по развитию научных исследований, атомной промышленности, энергетики и применения источников излучений в различных отраслях.

В связи с этим является актуальным издание рецензируемой монографии, в которой приведены систематические сведения об обращении с радиоактивными отходами, систематизированы современные сведения от рассмотрения их разновидностей до подготовки, кондиционирования, иммобилизации, захоронения и утилизации и о материалах для защиты от радиации.

Монография имеет четкую последовательность изложения и научную значимость, является ценным пособием и может быть полезна исследователям, занимающимся вопросами в сфере обращения с радиоактивными отходами и защите от радиации, а также для ученых и инженерно-технических работников, учащихся учебных заведений и вузов различных специальностей по направлениям строительства, экологии, медицины и др.

Рецензируемая монография «**Строительные материалы в иммобилизации радиоактивных отходов и защите от радиации**» авторов Рахимова Р.З., Рахимовой Н.Р., Ожована М.И. соответствует всем предъявляемым требованиям к работам такого рода и может быть рекомендована к опубликованию.



**REVIEW OF THE MONOGRAPH  
BY RAKHIMOV R.Z., RAKHIMOVA N.R., OZHOVAN M.I.  
“BUILDING MATERIALS IN IMMOBILIZATION OF RADIOACTIVE  
WASTE AND RADIATION PROTECTION”**

© The Author(s) 2024

**ANPILOV Sergey Mikhailovich**

Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical,  
Prof. of the Department  
*Novosibirsk State Architectural and Construction University  
(Russia, Novosibirsk, e-mail: anpilovsm@gmail.com)*

Since the middle of the 20th century, the existence and progress of human civilization have largely been intertwined with the advancement of the nuclear industry and energy, the use of radiation sources in diverse industries, and in healthcare. At the same time, this development is accompanied by the problem of preventing the ever-increasing contamination of the biosphere by radioactive waste, which is of concern to all mankind.

Russia is one of the leading countries in the world in the development of scientific research, nuclear industry, energy, and the use of radiation sources in various industries.

The reviewed monograph, which offers systematic information on radioactive waste management, systematically gathered up-to-date information from considering their varieties to preparation, conditioning, immobilization, disposal, and materials for radiation protection.

The monograph exhibits a distinct sequence and scientific significance, serves as a valuable instrument and can prove to be advantageous to researchers in the field of radioactive waste management and radiation protection, as well as to scientists and engineers, students of educational institutions and universities with diverse specialties in fields such as construction, ecology, medicine, and others.

The reviewed monograph “Building materials in immobilization of radioactive waste and radiation protection” by Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Ozhovan M.I. meets all the requirements for such works and can be recommended for publication.

Рецензия поступила в редакцию 25.04.2024; принята к публикации 17.05.2024.

The article was submitted 25.04.2024; accepted for publication 17.05.2024.

## УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

---

### АВТОРАМ

*Автор(ы)*, самостоятельно направляя научную статью, принимают на себя следующие обязательства: передают редакции сетевого издания «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» неисключительные права на использование научной статьи путем ее воспроизведения, использования научной статьи целиком или фрагментарно в сочетании с любым текстом, фотографиями или рисунками, в том числе, путем размещения полнотекстовых сетевых версий номеров на интернет-сайте издания.

*Автор(ы)* несет (ут) ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

*Автор(ы)* подтверждает (ют), что, направляемая статья публикуется впервые и не направлена в другое издание.

*Автор(ы)* согласен (ы) на обработку в соответствии со ст.6 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 г. №152-ФЗ своих персональных данных, а именно: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место(а) работы и/или обучения, контактная информация по месту работы и/или обучения, в целях опубликования представленной статьи в сетевом издании.

*Автор(ы)* подтверждает (ют), что направляемая научная статья не содержит сведений или информации с ограниченным доступом и для ее публикации не требуется разрешение Минобрнауки или других министерств и ведомств.

*Автор(ы)* научной статьи ознакомлен (ы) и согласен (ы) со следующими условиями:

- авторские права на научную статью принадлежат автору(ам) данной статьи;
- авторские права на номер сетевого издания (в целом) принадлежат учредителю сетевого издания;
- редакция сетевого издания имеет право предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;
- редакция сетевого издания имеет право производить необходимые уточнения и сокращения;
- вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается, материалы научных статей, направляемые в редакцию, авторам не возвращаются.

При этом авторы имеют право использовать все материалы в их последующих публикациях при условии, что будет сделана ссылка на публикацию в нашем сетевом издании.

Если при верстке в **ИнДизайне** или загрузке в **РИНЦ** (*они видят всё*) у вас в статье будет обнаружено замена однотипных букв из разных алфавитов, вставлены слова в виде формул или применены в словах некорректные символы с целью увеличения оригинальности текста (к сожалению, Word и Антиплагиат этого не видят) – статья будет **удалена**, а вся информация будет передана вашей организации.

*Редакция сетевого издания  
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»*

**Требования к публикациям  
в сетевом научном издании  
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»**

(включено в категорию **K2** перечня **ВАК**, пятилетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,647)

Сайт: <https://www.expert763.ru/>

Научные специальности:

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.9. – Строительная механика (технические науки);
- 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела (технические и естественные науки)

**Размещение статей в сетевом издании платное.**

**Оплата производится** после получения вами **сообщения** о приеме статьи к публикации, после чего автором высылаются скриншот или фото оплаты через Сбербанк-онлайн или через другие банки-онлайн на адрес сетевого издания: [expert763@mail.ru](mailto:expert763@mail.ru)

Статью высылать по адресу: [expert763@mail.ru](mailto:expert763@mail.ru)

**Материалы авторов (соавторов) не имеющих персональной регистрации в БД РИНЦ (SPIN-код, AuthorID) редакцией не рассматриваются, за исключением: если соавтором является доктор наук по специальности ВАК сетевого издания «Эксперт: теория и практика».**

**Редакция вправе отказать в размещении материалов автору, имеющему низкие наукометрические показатели в БД РИНЦ.**

**Структурные параметры:**

*Статья обязательно должна иметь элементы, отвечающие следующим параметрам:*

**1. Метаданные статьи** на русском и английском языках (научная специальность, УДК, DOI, название статьи, знак копирайта (авторского права), **все научные идентификаторы автора**, ФИО автора полностью, должность, организация, адрес организации, личная электронная почта, аннотация и ключевые слова) – **не проверяются на антиплагиат.**

**2. Тело статьи:**

**ВВЕДЕНИЕ**

*Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами*

**(кратко описывается проблема исследования и значение ее решения)**

*Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты этой проблемы и на которых обосновывается автор; выделение неразрешенных ранее частей общей проблемы.*

**(указаны общие тенденции в том, что уже было опубликовано, указано на отдельную проблему или на перспективу развития по данной тематике)**

*Обосновывается актуальность исследования.*

**(подтверждена актуальность исследования, указано практическое значение статьи и ее вклад в науку)**

**МЕТОДОЛОГИЯ**

*Формирование целей статьи.*

**(указывается цель статьи)**

*Используемые методы, методики и технологии.*

**(а) описание методов, которые вы применяли конкретно для статьи, если теоретическая статья, то выбрать один метод и описать его методологию, теорию, историю, конкретно какие принципы этого метода применяли к данному исследованию;**

**б) описание этапов эксперимента, в) описание участников эксперимента (возраст, пол, вузы и какие площадки были охвачены)**

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

*Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.*

**(а) раскрыто новшество статьи, описаны авторские наблюдения и результаты;**



- б) представленные результаты соответствуют заявленным целям и задачам статьи;
- в) описана идея, концепция, методика, которая нашла применение (конкретика);
- г) представлены результаты в виде таблиц и рисунков - названия таблиц и рисунков отвечают содержанию таблиц и рисунков)

#### ОБСУЖДЕНИЕ

*Сравнение полученных результатов с результатами в других исследованиях.*

- (а) сравнили различные методы, сравнили результаты исследования с аналогичными в других статьях;
- б) написали о различиях или сходстве (или и о различиях, и о сходстве);
- в) сделали разбор и разъяснение результатов;
- г) сделали обобщение и оценку результатов, сделали оценку достоверности полученных результатов;
- д) определили место полученных в ходе исследования результатов в структуре известных знаний)

#### ВЫВОДЫ

*Выводы исследования.*

(подводится итог статьи, указываются результаты, к которым пришли в результате проведенного исследования)

*Перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.*

(указываются направления, по которым необходимо провести дальнейшие исследования)

#### 3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (не проверяется на антиплагиат).

(рекомендуется в списке литературы не менее 15 источников, 5 из которых за последние 5 лет (в 2024 году — это статьи 2020-2024 годов).

#### Технические параметры:

Названия файла:

Фамилия город (например: **Иваненко Самара**)

Общий объем: 5-9 страниц печатанного текста формата А-4 (до списка литературы).

Стандарты: шрифт Times New Roman, кегль – **14**, междустрочечный интервал – **1,5**, абзацный отступ – **1 см** (это сделано для того, чтобы автор точно знал сколько страниц текста у него будет в журнале), все поля – **2 см**, литература – **В ПОРЯДКЕ ПОЯВЛЕНИЯ В ТЕКСТЕ** (желательно не менее 15 наименований, из них 5 (рекомендуется) – за последние 1-5 лет), редактор Word, тип файла – документ **Word 97-2003** (обязательно).

**Ключевые слова** (не менее 8 слов) и **аннотация** (не менее 150-200 слов) на русском и английском.

Неразрывные пробелы между цифрами, инициалами и фамилией.

Не путать тире (–) и дефис (-).

Формулы необходимо набирать в файле формата **Microsoft Word 2010** (используя опции "Вставка -> Формула"), а потом сохранять в **Word 97-2003**, в таком случае формулы становятся как картинки), размер символа - **10** (обязательно), длина формул не должна превышать **80 мм** (обязательно), латинские символы набираются курсивом, греческие – прямым шрифтом, **КИРИЛЛИЦА НЕ ДОПУСКАЕТСЯ**).

Рисунки, выполненные векторной графикой, должны быть помещены одним объектом или сгруппированы. Сканированные рисунки исполнять с раздельной возможностью не менее 300 dpi.

#### Справочная информация:

1. Для определения УДК можно использовать следующие ссылки:

А) <http://teacode.com/online/udc/>

Б) <http://www.naukapro.ru/metod.htm>

2. Для проверки статьи на антиплагиат (проверка обязательна в системе **АнтиплагиатВУЗ** – все остальные дают неверные показатели) ссылка (оригинальность текста статьи должна быть не менее



## Условия размещения материалов

---

75%, в тексте статьи должно быть не менее 8000 и не более 40000 знаков без пробелов):

А) <https://www.antiplagiat.ru/> (результаты хранятся у автора и высылаются по запросу редколлегии)

Статьи в обязательном порядке размещаются в системе РИНЦ – российского индекса научного цитирования (elibrary, ссылка: <http://elibrary.ru/titles.asp>), НЭБ КиберЛенинка (ссылка: <https://cyberleninka.ru>) и на сайте журнала.

Сетевое научно-практическое издание

**ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**  
**№ 2 (25) 2024 г.**

Главный редактор -  
Мурашкин Василий Геннадьевич,  
кандидат технических наук,  
АНО "ИССТЭ", Тольятти

Материалы представлены  
в авторской редакции  
Компьютерная вёрстка и дизайн обложки  
А.А. Сорочайкиной  
e-mail: [anna.sarachai@gmail.com](mailto:anna.sarachai@gmail.com)

Подписано для публикации на сайте  
<http://expert763.ru> 31.05.2024.  
Электронные текстовые данные (10,8 Мб).  
Распространяется бесплатно.  
Учредитель, издатель и редакция журнала -

АНО "ИССТЭ".

445047 Самарская область, г. Тольятти,  
Южное шоссе, дом 35А, офис 401,  
+7 (8482) 581090, <http://expert763.ru>,  
e-mail: [expert763@mail.ru](mailto:expert763@mail.ru)

Scientific and Practical Online Edition

**EXPERT: THEORY AND PRACTICE**  
**№ 2 (25) 2024**

Editor-in-Chief -  
Murashkin Vasily Gennadievich,  
Candidate of Technical Sciences,  
INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Signed for publication on the website  
<http://expert763.ru> 31.05.2024.  
Electronic text data (10.8 Mb)  
Distributed free of charge.  
Founder, publisher and editorial board -

INO "IFCTE".

445047, office 401, the house 35A,  
Southern Highway, Tolyatti, Samara region,  
+7 (8482) 581090, <http://expert763.ru>,  
e-mail: [expert763@mail.ru](mailto:expert763@mail.ru)