

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2023, №1 (20)

СЕТЕВОЕ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ
ИЗДАНИЕ

*Expert:
theory and practice*

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти/Tolyatti



Учредитель
Автономная некоммерческая организация
"Институт судебной строительно-технической экспертизы"
(АНО "ИССТЭ")

*В состав соучредителей издания введены ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»,
Анпилов С.М., Матвеева М.М., Сорочайкин И.А. Документы находятся на утверждении в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций в соответствии с действующим законодательством РФ*

Издаётся с 2019 г. Выходит 4 раз 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 К1 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**



©2023 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 Владilen 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
БАКУЛИНА Лилия Талгатовна – доктор юридических наук, доцент, декан юридического факультета, Казанский (Приволжский) федеральный 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, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

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 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)

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)

ТРЕЩЁВ 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; <http://expert763.ru>

Founder
Independent Noncommercial Organization
"Institution of Forensic Construction and Technological Expertise"
INO "IFCTE"

The co-founders of the publication included Saratov State Technical University Gagarina Yu.A., Anpilov S.M., Matveeva M.M., Sorochaikin I.A. Documents are being approved by an authorized registrar in accordance with the current legislation of the Russian Federation

Published since 2019. Published 4 times a year.

Prefix DOI: 10.51608/26867818

The certificate of mass media registration **EL № ФЦ 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**



©2023 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., Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (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)

Lilia T. BAKULINA – Dr. of Law, Associate Professor, Dean of the Faculty of Law, Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, 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, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Materials and Technologies, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, 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. KAPRILOV – 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; <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 Николаевич – 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)
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
ЕФИМЦЕВА Татьяна Владимировна – доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой предпринимательского и природоресурсного права, Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина, Оренбургский филиал
ЖАДАНОВ Виктор Иванович – Заслуженный строитель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет
КВАНИНА Валентина Вячеславовна – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой «Предпринимательское, конкурентное и экологическое право», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия)
КОРОБКОВ Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники, механики и робототехники, Орловский государственный университет им. Тургенева
КОРОБКОВ 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
КУПРИЯНОВ Валерий Николаевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет
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
МИЛУШЕВА Татьяна Владимировна – доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой гражданского права и процесса, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Поволжский институт управления им. П.А. Столыпина (Саранск, Россия)
МИРСАЯПОВ Ильзар Талгатович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)
МИРСАЯПОВ Илшат Талгатович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)
МИХАЙЛОВ Андрей Валерьевич – кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой Предпринимательского и энергетического права, Казанский (Приволжский) федеральный университет
МОИСЕЕВ Александр Михайлович – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой Криминалистики, Донбасская юридическая академия (ДНР, Донецк)
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
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
САЛИМОВА Татьяна Анатольевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, декан экономического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)
СЕРОВА Ольга Александровна – доктор юридических наук, профессор, проректор по учебной работе, Псковский государственный университет
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 РТ, Лауреат госпремии РТ, научный консультант АО "Казанский Гипрониавиапром"
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)
СУШКОВА Юлия Николаевна – доктор исторических наук, доцент, заведующий кафедрой международного и европейского права, декан юридического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)
ХОЗИН Вадим Григорьевич – Заслуженный деятель науки РФ и РТ, 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)

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., CIRDO 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. ERYSHYEV – Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof. of the Department of Industrial and Civil Construction, Togliatti State University (Tolyatti, Russia)

Tatyana V. EFIMTSEVA – Dr. of Law, Associate Professor, Head of the Department of Entrepreneurial and Natural Resources Law, Moscow State Law University. O.E. Kutafina, Orenburg branch (Orenburg, 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)

Valentina V. KVANINA – Dr. of Law, Prof., Head of the Department of Business, Competition and Environmental Law, South Ural State University (Chelyabinsk, 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)

Valery N. KUPRIYANOV – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, 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)

Tatyana V. MILUSHEVA – Dr. of Law, Associate Professor, Head of the Department of Civil Law and Procedure, The Russian Presidential Academy Of National Economy And Public Administration (Saratov, 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)

Andrey V. MIKHAILOV – PhD in Law, Associate Professor, Head of the Department of Entrepreneurial and Energy Law, Kazan Federal University (Kazan, Russia)

Alexander M. MOISEEV – Dr. of Law, Prof., Head of the Department of Criminalistics, Donbass Law Academy (Donetsk)

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

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)

Tatyana A. SALIMOVA – Dr. of Economics, Prof., Head of the Department of Quality Management, Dean of the Faculty of Economics, Mordovia State University named after N.P. Ogareva (Saransk, Russia)

Olga A. SEROVA – Dr. of Law, Prof., Vice-Rector for Academic Affairs, Pskov State University (Pskov, 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)

Yulia N. SUSHKOVA – Dr. of Historical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of International and European Law, Dean of the Faculty of Law, Mordovia State University named after N.P. Ogareva (Saransk, 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

СГТУ РАСШИРЯЕТ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ С ВЕДУЩИМИ РОССИЙСКИМИ ИЗДАНИЯМИ.....	12
--	----

КРАТКИЕ ИТОГИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «РАСШИРЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ, ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ» ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, ПИЧУГИН Анатолий Петрович, БОГАТОВ Андрей Дмитриевич, ЛЕСНОВ Виталий Викторович.....	14
--	----

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕХАНИКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ КОЛЧУНОВ Владимир Иванович.....	21
--	----

КОМПОЗИТНОЕ УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ РИМШИН Владимир Иванович, СУЛЕЙМАНОВА Людмила Александровна, АМЕЛИН Павел Андреевич, ФРОЛОВ Николай Викторович.....	29
--	----

ПРОЧНОСТЬ И МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, СЕЛЯЕВ Павел Владимирович, Грязнов Сергей Юрьевич, АВЕРКИНА Маргарита Юрьевна.....	35
---	----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛА БОГАТОВ Андрей Дмитриевич, БОГАТОВА Светлана Николаевна, ЯМБУШЕВ Равиль Зифритович, АКСЕНОВ Даниил Сергеевич, СВИТОВА Галина Петровна.....	44
--	----

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ И ПЕРЕГОРОДОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ГИПСА И ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ БУЛАТОВ Булат Галиевич.....	51
--	----

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ ИЗ ФОСФОГИПСА БУРЬЯНОВ Александр Фёдорович, ПОЛУМИЕВ Эдуард Викторович.....	55
---	----

АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ, ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ВОЛОДИН Владимир Владимирович, НИЗИНА Татьяна Анатольевна.....	59
---	----

САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ВОЛОДИН Владимир Владимирович, НИЗИНА Татьяна Анатольевна.....	63
---	----

К РАСЧЕТУ ПЛАСТИН МЕТОДОМ КОЛЛОКАЦИЙ ГОРБАЧЕВА Ольга Александровна	69
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В ЗЕЛЕНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЕРГУНОВА Анна Васильевна, ПИКСАЙКИНА Анна Александровна, АДЫЛХОДЖАЕВ Анвар Ишанович	73
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ И ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАКРЕВСКАЯ Любовь Владимировна, НИКОЛАЕВА Ксения Алексеевна, БАРУЗДИН Александр Андреевич	80
МАТЕРИАЛ С КРУПНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ НА ОБЖИГОВОЙ ПОРИЗОВАННОЙ СВЯЗКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛОБОЯ КОРОТАЕВ Сергей Александрович, АТМАНЗИН Алексей Фёдорович, КОРОТАЕВ Николай Сергеевич, ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович.....	86
ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ БИОДЕСТРУКТОРОВ ШТУКАТУРНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИХ ЭКСПОЗИЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ФАКТОРОВ ЛЕДЯЙКИН Никита Васильевич, ЛЕДЯЙКИНА Оксана Васильевна	91
ЭФФЕКТИВНЫЕ КРУПНОПОРИСТЫЕ КАРКАСЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО СВЯЗУЮЩЕГО И МЕСТНОГО ЛЕГКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ: ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕСНОВ Виталий Викторович, САЛИМОВ Руслан Наилевич	97
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВТОРИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МОСТОСТРОЕНИИ. ПЕРВЫЕ В МИРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ МОСТЫ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИКА ВТОРИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОВЧИННИКОВ Игорь Георгиевич, АНШВАЕВ Адиль Кайрулович	101
ГИПСОВЫЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ДОБАВОЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна, ЗАВАДЬКО Мария Юрьевна	106
ВЛИЯНИЕ ВИБРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПОВКОЛАС Константин Эдуардович	111
НАНОМОДИФИКАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович, ПИЧУГИН Анатолий Петрович.....	116
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПРОЦЕССА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА РИМШИН Владимир Иванович, КЕЦКО Екатерина Сергеевна, КУЗИНА Ирина Сергеевна	121
СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА ИЗ ДИАТОМИТА АТЕМАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна, МУХАНОВ Михаил Александрович, ЛИЯСКИН Олег Викторович.....	125
ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ШЛАМОВ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТАРАКАНОВ Олег Вячеславович, БЕЛЯКОВА Елена Александровна, МОСКВИН Роман Николаевич	130
ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА АНАЛИЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ ФЕДОСОВ Сергей Викторович, ФЕДОСЕЕВ Вадим Николаевич, ЗАЙЦЕВА Ирина Александровна, ВОРОНОВ Владимир Андреевич	133
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ХАРЧЕНКО Алексей Игоревич, ХАРЧЕНКО Игорь Яковлевич, МУРТАЗАЕВ Сайд-Альви Юсупович, САЛАМАНОВА Мадина Шахидовна	139

РОЛЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ В РЕАЛИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА» ХОЗИН Вадим Григорьевич, ЦЫГАНОВА Елена Алексеевна.....	147
ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич, ЕМЕЛЬЯНОВ Алексей Иванович, КИСЕЛЕВ Евгений Викторович.....	160
ОПЫТ МОДИФИКАЦИИ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО КОЖЕВЕННЫМИ ОТХОДАМИ ЯРЦЕВ Виктор Петрович, МАМОНТОВ Семён Александрович, СУЧКОВ Кирилл Олегович, СУЧКОВА Ирина Геннадьевна	163

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

ПОКАЗАТЕЛИ ЦИТИРУЕМОСТИ УЧЕНЫХ С УЧЕТОМ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЦИТИРУЮЩИХ АВТОРОВ МАРВИН Сергей Владимирович.....	167
--	-----

РЕЦЕНЗИИ

РЕЦЕНЗИЯ НА КОМПЛЕКС УЧЕБНЫХ И НАУЧНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ». АВТОРЫ: ДЕРГУНОВА А.В., БУЛГАКОВ А.Г., КАЗНАЧЕЕВ С.В., АФОНИН В.В. ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич.....	172
<i>Условия размещения материалов.....</i>	175

CONTENT

STATE TECHNICAL UNIVERSITY OF SARATOV EXPANDS SCIENTIFIC RELATIONS WITH LEADING RUSSIAN EDITIONS 12

BRIEF SUMMARY OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE “INCREASING THE USE OF LOCAL RAW MATERIALS AND WASTES OF ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA IN THE MANUFACTURING OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS”
EROFEEV Vladimir Trofimovich, PICHUGIN Anatoly Petrovich, BOGATOV Andrey Dmitrievich,
LESNOV Vitaly Viktorovich 14

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

MAIN RESULTS OF REINFORCED CONCRETE MECHANICS IN BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS
KOLCHUNOV Vladimir Ivanovich 21

COMPOSITE STRENGTHENER OF REINFORCED CONCRETE BENDABLE ELEMENTS DAMAGED UNDER THE INFLUENCE OF CHLORIDE AGGRESSIVE ENVIRONMENT
RIMSHIN Vladimir Ivanovich, SULEYMANOVA Lyudmila Aleksandrovna, AMELIN Pavel Andreevich,
FROLOV Nikolay Viktorovich 29

STRENGTH AND FRACTURE MECHANICS OF THE FRACTAL STRUCTURE OF CONCRETE
SELYAEV Vladimir Pavlovich, SELYAEV Pavel Vladimirovich, GRYAZNOV Sergey Yurievich,
AVERKINA Margarita Yurievna 35

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

BUILDING MATERIALS BASED ON GLASS WASTE
BOGATOV Andrey Dmitrievich, BOGATOVA Svetlana Nikolaevna, YAMBUSHEV Ravil Zifritovich,
AKSENOV Daniil Sergeevich, SVITOVA Galina Petrovna 44

FEATURES OF CHOOSING THE MOST RATIONAL TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF WALL AND PARTITION PRODUCTS BASED ON NATURAL GYPSUM AND GYPSUM-CONTAINING WASTE IN MODERN CONDITIONS
BULATOV Bulat Galievich 51

ABOUT PRODUCING AN ARTIFICIAL PLASTER STONE FROM PHOSPHOGYPSUM
BURYANOV Alexander Fedorovich, POLUMIEV Eduard Viktorovich 55

ANALYSIS OF THE MINERAL RAW MATERIAL BASE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA SUITABLE FOR THE PRODUCTION OF ACTIVE MINERAL ADDITIVES
VOLODIN Vladimir Vladimirovich, NIZINA Tatiana Anatolyevna 59

SELF-COMPASSING FINE GRAIN CONCRETE WITH MINERAL ADDITIVES ON THE BASIS CLAY AND CARBONATE ROCKS
VOLODIN Vladimir Vladimirovich, NIZINA Tatiana Anatolyevna 63

ABOUT THE COLLOCATION METHOD FOR TO THE CALCULATION OF PLATES	
GORBACHEVA Olga Aleksandrovna.....	69
ECONOMIC ADVANTAGES OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES WITH THE USE OF LOCAL RAW MATERIALS IN GREEN CONSTRUCTION	
DERGUNOVA Anna Vasilyevna, PIKSAYKINA Anna Aleksandrovna, ADYLKHODJAEV Anvar Isanovich	73
COMPOSITES FOR BRICKLAYING AND DECORATIVE ELEMENTS	
ZAKREVSKAYA Lyubov Vladimirovna, NIKOLAEVA Ksenia Alekseevna, BARUZDIN Alexander Andreevich	80
MATERIAL WITH A LARGE FILLER ON A ROASTING POROUS BOND PRODUCED USING CULLET	
KOROTAYEV Sergey Alexandrovich, ATMANZIN Alexey Fyodorovich, KOROTAYEV Nikolai Sergeevich, EROFEEV Vladimir Trofimovich	86
BIODESTRUCTORS IDENTIFIED ON PLASTERING SAMPLES SUSTAINED UNDER EXPOSURE CONDITIONS ULTRAVIOLET IRRADIATION AND TEMPERATURE AND HUMIDITY FACTORS	
LEDYAYKIN Nikita Vasilyevich, LEDYAYKINA Oksana Vasilyevna	91
EFFECTIVE LARGE-PORE FRAMES PRODUCED ON THE BASIS OF A POLYMERIC DISPERSED REINFORCED BINDER AND A LOCAL LIGHT AGGREGATE: MANUFACTURING TECHNOLOGY, ELASTIC STRENGTH PROPERTIES, APPLICATION	
LESNOV Vitaly Viktorovich, SALIMOV Ruslan Nailevich.....	97
WORLD'S FIRST RAILWAY BRIDGES MADE WITH SECONDARY THERMOPLASTIC	
OVCHINNIKOV Igor Georgievich, ANSHVAEV Adil Kairulovich	101
GYPSUM DISPERSED REINFORCED COMPOSITIONS WITH AN ADDITIVE COMPLEX BASED ON TECHNOGENIC WASTE	
PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna, ZAVADKO Maria Yurievna.....	106
INFLUENCE OF VIBRODYNAMIC EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES	
POVKOLAS Konstantin Eduardovich.....	111
NANOMODIFICATION OF PROTECTIVE COATINGS OF METAL STRUCTURES AND EQUIPMENT FOR ENSURING OPERATIONAL STABILITY	
PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich, PICHUGIN Anatoly Petrovich	116
TECHNOLOGICAL REGULATION OF THE CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT	
RIMSHIN Vladimir Ivanovich, KETSKO Ekaterina Sergeevna, KUZINA Irina Sergeevna	121
METHODS FOR PRODUCING A MICROSILICA FROM A DIATOMITE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA ATEMAR DEPOSIT	
SELYAEV Vladimir Pavlovich, KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna, MUKHANOV Mikhail Alexandrovich, LIYASKIN Oleg Viktorovich	125
APPLICATION OF MINERAL SLUDGE AND CARBONATE ROCKS IN THE PRODUCTION OF CEMENT MATERIALS	
TARAKANOV Oleg Vyacheslavovich, BELYAKOVA Elena Alexandrovna, MOSKVIN Roman Nikolaevich	130
EXPERT EVALUATION OF ENERGY-SAVING MODELS OF AIR HEAT PUMP SYSTEMS ANALYSIS	
FEDOSOV Sergey Viktorovich, FEDOSEEV Vadim Nikolaevich, ZAYCEVA Irina Alexandrovna, VORONOV Vladimir Andreevich.....	133
APPLICATION OF CLINKER-FREE BINDERS IN GEOTECHNICAL CONSTRUCTION	
KHARCHENKO Alexey Igorevich, KHARCHENKO Igor Yakovlevich, MURTAZAEV Said-Alvi Yusupovich, SALAMANOVA Madina Shahidovna	139
ROLE OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN THE IMPLEMENTATION OF A FEDERAL PROJECT "THE CLOSED-CYCLE ECONOMY"	
KHOZIN Vadim Grigorievich, TSYGANOVA Elena Alekseevna.....	147
OBTAINING EFFICIENT FOAM FROM SECONDARY PRODUCTS OF ETHYL ALCOHOL PRODUCTION	
CHEKASOV Vasily Dmitrievich, EMELYANOV Alexey Ivanovich, KISELEV Evgeny Viktorovich.....	160
EXPERIENCE OF MODIFYING BITUMEN BINDING WITH LEATHER WASTE	
YARTSEV Viktor Petrovich, MAMONTOV Semyon Alexandrovich, SUCHKOV Kirill Olegovich, SUCHKOVA Irina Gennadievna.....	163

EXPERT OPINION

INDICATORS OF CITATION OF SCIENTISTS TAKING INTO ACCOUNT A SAMENESS OF CITING AUTHORS

MARVIN Sergey Vladimirovich 167

REVIEWS

REVIEW OF THE COMPLEX OF EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC WORKS UNDER THE COURSE OF "AUTOMATION AND ROBOTIZATION IN CONSTRUCTION". AUTHORS: DERGUNOVA A.V., BULGAKOV A.G., KAZNACHEEV S.V., AFONIN V.V.

CHERKASOV Vasily Dmitrievich 172

Conditions for Posting Materials 175



СГТУ РАСШИРЯЕТ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ С ВЕДУЩИМИ РОССИЙСКИМИ ЖУРНАЛАМИ*

30 января состоялась торжественная церемония подписания договора о вхождении Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. в состав соучредителей сетевого издания «Эксперт: теория и практика».

Свои подписи под документом поставили и.о. ректора СГТУ, профессор Сергей Наумов и заместитель главного редактора сетевого издания, директор Института судебной строительно-технической экспертизы, доктор философских наук Андрей Сорочайкин.

ководства и профессорско-преподавательского состава СГТУ.

«В научном сообществе сетевое издание пользуется большой популярностью и входит в десятку лучших по направлению «Строительство». Взаимодействие с изданием выстроено с момента его основания, а это с 2019 года. Многие наши коллеги с Института урбанистики, архитектуры и строительства публикуют свои научные труды, результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и канди-



В церемонии подписания договора также приняли участие заместитель главного редактора, доктор технических наук Сергей Анпилов, представители ру-

дата наук. Уверен, что конструктивное сотрудничество с сетевым изданием существенно расширит научные связи СГТУ. И, несомненно, позволит вузу внести



* Подготовлено по материалам официального сайта СГТУ. URL: <https://www.sstu.ru/news/sgtu-rasshiryaet-nauchnye-svyazi-s-vedushchimi-rossiyskimi-zhurnalami.html>.



значительный вклад в развитие науки и высшего образования Российской Федерации», – прокомментировал подписание документа Сергей Наумов.

Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки РФ сетевое издание включено в категорию K1 перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Бессменный руководитель редакционного совета – Заслуженный деятель науки РФ, академик Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор СГТУ Владимир Васильевич Петров.

«Строительно-техническое направление является ведущим в сетевом издании «Эксперт: теория и практика». Отдельно подчеркну важнейшую роль Владилена Васильевича, который внес большой личный вклад в развитие издания. С момента возникновения идеи создания научного издания, он находится вместе с нами. Выражаю надежду на дальнейшее плодотворное и взаимовыгодное сотрудничество с Саратовским техническим университетом», – сказал Андрей Сорочайкин.

*Редакционный совет, редакционная коллегия
сетевого издания «Эксперт: теория и практика»*

STATE TECHNICAL UNIVERSITY OF SARATOV EXPANDS SCIENTIFIC RELATIONS WITH LEADING RUSSIAN JOURNALS

On January 30, a solemn ceremony of signing the agreement on joining the YURI GAGARIN STATE TECHNICAL UNIVERSITY OF SARATOV into the co-founders of "Expert: theory and practice" online edition was held.

The document was signed by the acting rector of the Saratov university, Professor Sergey Naumov and Deputy Chief Editor of the online edition, Director of the Institute of Forensic Construction and Technical Expertise, Doctor of Philosophical Sciences, Andrey Sorochaikin.

The signing ceremony was also attended by Sergey Anpilov, Deputy Chief Editor, Doctor of Technical Sciences, and representatives of the management and professors of the university.

The Higher Attestation Commission of the Ministry of Science of the Russian Federation included the online edition in the K1 category of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, in which the main results of dissertations for doctoral and candidate degrees should be published. The permanent head of the editorial board is Petrov Vladilen Vasilyevich, the Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, professor of the State Technical University of Saratov.

*Editorial Board, Editorial Staff
online edition "Expert: Theory and Practice"*



Материалы конференции

УДК 69

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура; 30.19 Механика деформируемого твердого тела

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

2.1.9. Строительная механика; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_1_14

**КРАТКИЕ ИТОГИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «РАСШИРЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ,
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ»**

© Авторы 2023

SPIN: 9213-4861

AuthorID: 800708

ORCID: 0000-0001-8517-5958

ResearcherID: AAQ-9234-2021

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой строительных материалов и технологий

Национальный исследовательский Мордовский государственный

университет им. Н.П. Огарёва

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

SPIN: 6626-3274

AuthorID: 409255

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет

(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)

SPIN: 4261-5338

AuthorID: 5056

БОГАТОВ Андрей Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный

университет им. Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

SPIN: 8328-8930

AuthorID: 367456

ЛЕСНОВ Виталий Викторович

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный уни-

верситет им. Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

Для цитирования: Краткие итоги научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» / В.Т. Ерофеев, А.П. Пичугин, А.Д. Богатов, В.В. Леснов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 14-20. doi:10.51608/26867818_2023_1_14.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва выступил гостеприимной площадкой для проведения Всероссийской научно-практической конференции. В научном форуме приняли участие исследователи и ученые из многих городов России.

Открытие конференции состоялось в конференц-зале университета.

Ведущие конференции:

В. Т. Ерофеев – академик РААСН, директор института архитектуры и строительства;

С. П. Пронькин – 1-й заместитель министра строительства и архитектуры Республики Мордовия

С приветственными словами к участникам научно-технической конференции обратились: рек-

тор НИ МГУ им. Н.П. Огарева Д. Е. Глушко; министр промышленности, науки и новых технологий Республики Мордовия И. В. Губайдуллин; министр строительства и архитектуры Республики Мордовия А. А. Гришакин; ректор Новосибирского ГАСУ (Сибстрин) Ю. Л. Сколубович; ректор Пензенского ГУАС С. А. Болдырев.

Затем в торжественной обстановке состоялось подписание договоров о сотрудничестве НИ МГУ им. Н.П. Огарева в области образования и науки с ВУЗами РФ: НГАСУ (Сибстрин) и ПГУАС.

Далее участники конференции приступили к рассмотрению вопросов, обозначенных в программе конференции. Ведущий В.Т. Ерофеев подчеркнул чрезвычайную значимость и актуальность



ряда вопросов, связанных с переработкой отходов местных предприятий в каждом субъекте страны, в том числе возможности их применения при изготовлении изделий для строительной отрасли.

В соответствии с утвержденной программой научно-технической конференции в центре внимания участников и слушателей оказались актуальные вопросы строительства в области наукоемких задач 3D моделирования и цифровых технологий, специфики подготовки кадров для транспортного строительства Российской Федерации.

Пленарное заседание по данному блоку открылось докладом академика РААСН, доктора технических наук, профессора, научного руководителя НОЦ КМ им. А. Б. Золотова НИИ МГСУ Белостоцкого А.М. на тему: «Наукоемкие задачи в строительстве (научно-техническое сопровождение уникальных объектов на всех этапах строительства)».

Доклад сопровождался многочисленными слайдами с показом проблем при проектировании высотных или особо сложных в техническом исполнении зданий и сооружений. Показаны выявленные автором совместно с его коллективом недостатки в учете действующих нагрузок и воздействий на объекты с уникальными архитектурными показателями, а также порядок их учета в ходе расчета, конструирования и выполнения проекта. Несомненным преимуществом данной работы являются новые подходы и конструктивные решения, позволившие обеспечить сохранность сооружений и их эксплуатационную надежность в различных климатических условиях.

Не менее интересный доклад на тему: «Математическое моделирование динамических свойств многокомпонентных строительных материалов на основе положений нелокальной механики» представил член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор МГСУ Сидоров В. Н., раскрывший новые возможности цифровизации в строительном проектировании. Учет всех действующих сочетаний нагрузок и факторов на современном этапе проектно-строительных работ невозможен без моделирования многокомпонентных строительных материалов и многофакторных воздействий на строительные конструкции и части зданий и сооружений. Поэтому новый комплексный подход вполне закономерен и может дать положительный эффект при возведении объектов сложной конфигурации, особенно в суровых климатических условиях. С этой точки зрения необходимо обязательно внедрять новые подходы по динамическому моделированию в учебных заведениях строительного профиля.

О существующих проблемах подготовки специалистов для строительной отрасли и путях их решения сделали доклад академик Российской академии транспорта, доктор технических наук, профессор **Овчинников И.Г.** и кандидат технических наук, до-

цент **Овчинников И.И.** (СГТУ, г. Саратов), на уникальных примерах обосновавшие необходимость тесной связи между учебными заведениями и строительными организациями. Опыт такого взаимодействия между Тюменским индустриальным университетом и строительным трестом «АО Мостострой-11» дал положительный результат по закреплению выпускников для работы на данном предприятии. Проводимые совместно с работниками вуза и треста аттестации и защиты выпускных работ позволили внедрять передовые технологии и материалы в деятельности строительной организации.

Во второй части пленарного заседания научно-технической конференции были заслушаны доклады, посвященные изучению свойств эффективных строительных материалов, полученных на основе промышленных отходов, местных и вторичных ресурсов различных регионов РФ.

О происходящих в природе и в нашей жизни циклах строительных материалов и отходов производства доложил доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ТСМиК Казанского ГАСУ В. Г. Хозин (тема: «Стройиндустрия, как замыкающее звено «жизненного цикла» промышленных отходов регионов России»). Докладчик подробно рассмотрел процессы производства строительных материалов и изделий,хождение их в качестве структурирующих элементов при возведении зданий и сооружений, постепенной деградации их потребительских свойств и выход из употребления, т.е. превращения в отходы. Кроме того, намечены пути вторичного использования этих вышедших из качественного употребления материалов и изделий, а также эффективность их использования в строительном комплексе страны.

С докладом на тему: «Использование нанодобавок для повышения качества материалов и изделий из отходов и местного растительного сырья» выступил А. П. Пичугин, академик РАЕН, доктор технических наук, профессор Новосибирского ГАУ. Он привел несколько вариантов эффективной переработки и применения отходов деревообработки, растительного сырья, полимерных отходов в виде пленки и различных полиэтиленовых бутылок, низкосортной-древесины, золошлаковых отвалов и пр. Полученные материалы и изделия из этих и других вторичных ресурсов благодаря нанодобавкам обрели новые свойства и возможности для дальнейшего использования. При этом решён ряд технологических задач по обеспечению адгезии, стойкости гранул, защиты растительного сырья и металлических конструкций от действующих факторов, а также приборное оснащение для фиксации потребительских свойств.

А. Ф. Бурьянов, советник РААСН, доктор технических наук, профессор (МГСУ, г. Москва) выступил с докладом «Применение местных сырьевых матери-



алов и отходов промышленных предприятий для получения гипсовых вяжущих истроительных изделий на их основе», в котором дал анализ не только сырьевой базы для производства гипса, но и возможные пути расширения её за счет смежных отраслей народного хозяйства. Докладчик привел неоспоримые доказательства эффективности использования гипсовых вяжущих в современном строительстве, достоинства и преимущества гипсовых технологий для получения теплоизоляционных и конструкционных изделий самого широкого спектра использования.

Интересный доклад был предложен доктором технических наук, профессором Уфимского государственного нефтяного университета И. В. Недосеко на тему: «Использование местных вторичных ресурсов при устройстве оснований автомобильных дорог – важный элемент устойчивого развития транспортной инфраструктуры». Исследователь предложил использовать для укрепления оснований дорог отходы производства, содержащие известь и другие активные составляющие. Намечено также оригинальное техническое решение по грануляции отходов для лучшего сочетания с грунтами при введении укрепляющей добавки. Такой подход к использованию крупнотоннажных отходов может быть весьма положительным.

О комплексном использовании добавок в бетонные и растворные смеси сделал доклад советник РААСН, доктор технических наук, профессор Пензенского ГАСУ О. В. Тараканов («Комплексные органоминеральные добавки с использованием вторичных ресурсов»). Известно, что различные отходы промышленности могут иметь реакционную способность и вызывать процессы усиления в минеральных и органоминеральных смесях, поэтому предлагаемые докладчиком варианты использования таких отходов, способствующих пластификации и упрочнению строительных конгломератов, конечно, весьма предпочтительны.

Вниманию участников конференции был представлен чрезвычайно актуальный круг вопросов по перспективному внедрению результатов научных исследований в реальный сектор экономики, где могут объединить свои усилия многие ученые-исследователи и практики. Об опыте и результатах взаимодействия по реализации передовых исследований в практику строительства был посвящен доклад С. М. Анпилова – советника РААСН, доктора технических наук, профессора Новосибирского ГАСУ (Сибстрин), члена Правления Российского Союза Строителей на тему: «Опыт практической реализации научных исследований. Монолитные сталежелезобетонные и легкие стальные конструкции». Докладчик рассказал о результатах практического внедрения инноваций, наглядно продемонстрировал исследования как на

слайдах, так и на привезённых образцах результаты уникальных исследований. Познакомил слушателей с опытом практической реализации монолитных сталежелезобетонных конструкций, опытом внедрения несъемных опалубок при монолитном домостроении. Отмечена высокая эффективность предлагаемых докладчиком технических решений. Разработанные тонкостенные металлические профили позволяют в реальном секторе экономики получать не только экономический эффект, но и значительно сокращать сроки ввода в эксплуатацию во время строительства, реконструкции, технического перевооружения объектов и специальных сооружений. Результаты научных исследований защищены патентами РФ.

Как и раньше, с большим интересом участники конференции выслушали докладчика. Затем Сергей Михайлович ответил на множество вопросов слушателей. Дружелюбные и насыщенные обсуждения инновационного выступления задали познавательный тон и превратили конференцию в активную дискуссионную площадку.

О проблемах подземного строительства и возможностях использования вторичных сырьевых ресурсов с докладом на тему: «Применение бесклнкерных вяжущих в геотехническом строительстве» выступил доктор технических наук, начальник отдела освоения подземного пространства МГСУ И. Я. Харченко. Докладчик заострил своё внимание на проблемах подземного строительства, коррозионных средах и воздействующих факторах. Особое место в докладе было отведено вопросу применения бесклнкерных вяжущих, обеспечивающих не только прочностные и эксплуатационные свойства объектам, но и создающие благоприятные качественные характеристики водостойкости и водонепроницаемости, что особенно важно для территорий с высоким уровнем грунтовых вод.

На этом пленарное заседание было завершено.

Одними из центральных мероприятий конференции на последующих заседаниях 18 и 19 ноября, на которых были объединены усилия докладчиков по вопросам, связанным с использованием местного сырья и отходов производства, использованию добавок и новых технологических приемов для повышения эффективности строительства, наиболее подготовленные и продвинутые в плане доведения их до заводского или цехового внедрения. К работам, имеющим высокую степень апробации также следует отнести сообщения участников конференции из Владимирского госуниверситета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Е.А. Репина, Л.В. Закревская, И.Р. Капуш, А.А. Бороздин и др.), результаты исследований МГУ им. Н. П. Огарева (Т. А. Низина, В. В. Володин, Д. А. Бусаргин, П. Н. Осина и др.), Новосибирского госу-



дарственного аграрного университета (А. В. Пчельников), Казанского ГАСУ (Д. А. Аюпов), Тамбовского и Тверского государственных технических университетов (Т. И. Горохов, В. М. Данилов, М. Ю. Завадько) и др.

В центре внимания участников конференции оказались проблемы поперспективному применению отходов стекла в строительстве. Этим задачам был посвящен доклад А. Д. Богатова и С. А. Коротаева. В своем докладе А. Д. Богатов представил результаты исследований механизмов твердения и биостойкости стеклощелочных композитов, полученных на основе боя стекла, подверженных воздействию различных видов микроскопических грибов. А. И. Родин и А. А. Ермаков посвятили свой доклад проблемам биологической стойкости цементов, изготовленных из отходов минеральной ваты. В своем докладе А. П. Федорцов представил результаты исследований по технологии получения композиционных материалов на основе диатомитов и известняков месторождений Республики Мордовия. Доклады Е. В. Киселева и А. И. Емельянова были посвящены разработке эффективных пенообразующих и пластифицирующих добавок на основе отходов молочной промышленности и продуктов спиртового производства. Большое количество выступлений относилось к вопросам использования местных древесных отходов для производства различных строительных стеновых и теплоизоляционных изделий (доклады А. В. Дергуновой, В. В. Леснова, А. Б. Максотовой и др.). Применение местных диатомитовых глин для получения микрокремнезема, нашли отражение в выступлении Л. И. Куприяшкиной.

Заключительный день программы конференции был представлен на кафедре строительных материалов и технологий в виде стендовых докладов:

Анпилов С. М. «Пути прогресса и развития в науке» и [1-3];

Бурьянов А. Ф., Фишер Х. Б. «Композиты на основе гипсовых связующих» [4];

Булгаков А. Г., Хольшемахер К. «Разработка эффективных бетонов» [5];

Дергунова А. В., Пиксайкина А. А., Адылходжаев А. И. «Экономические преимущества энергоэффективных технологий с применением местных сырьевых ресурсов в зеленом строительстве» [6];

Ерофеев В. Т., Аль Дулайми Салман Давуд Салман «Получение самовосстанавливающихся железобетонных конструкций с применением местных материалов и отходов промышленного производства» [7-8];

Ерофеев В. Т., Адилходжаев А. И. «Высокопрочные бетоны на основе местных сырьевых материалов и отходов промышленных предприятий» [9];

Ерофеев В. Т., Тюряхина Т. П. «Теоретические исследования зернистых слоистых композитов» [10];

Ерофеева И. В. «Исследование прочности композитов» [11];

Казначеев С. В. «Исследование физико-механических свойств композитов на основе промышленных отходов Республики Мордовия и их стойкости к воздействию агрессивных сред» [12];

Леснов В. В., Салимов Р. Н. «Эффективные крупнопористые каркасы, полученные на основе полимерного дисперсно-армированного связующего и местного легкого заполнителя: технология изготовления, упруго-прочностные свойства, применение» [13];

Максимова И. Н., Макридин Н. И. «Прочность и параметры разрушения цементных композитов» [14-15].

Мартынов А. А. «Исследование влияния растворителя на свойства эпоксидных композитов» [16];

Молодых С. А. «Технология получения керамических материалов на основе местного сырья» [17];

Рахманов Б. С., Моисеенко В. А., Ерофеева И. В. «Архитектурные древности Хивы» [18];

Федорцов А. П. «Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения» [19-20];

Федосов С. В., Румянцева В. Е., Каневен Э., Коринчук М. «Методы теории массопереноса для моделирования процессов сушки блоков арболита-сырца» [21];

Черушова Н. В., Черушов К. А., Зоткина М. М. «Выбор пигмента для лакокрасочных материалов на эпоксидном связующем» [22-23];

По отзывам участников конференции участие в ней академиков и членов-корреспондентов РААСН, ведущих ученых региональных вузов России, ректоров ряда ВУЗов России, руководителей крупных предприятий строительного комплекса Мордовии сформировали высокую планку докладов и научных дебатов.

По результатам конференции принято соответствующее решение.

Участники научной конференции выразили признание на продолжение совместной научной деятельности и обмену опытом по достигнутым результатам на постоянно-действующих семинарах по инновационной деятельности ученых-исследователей.

Информационную поддержку научно-технической конференции оказало одно из ведущих в строительной отрасли России изданий – сетевое научно-практическое издание «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА».

Библиографический список

1. Анпилов, С. Пути прогресса и развития в науке / С. Анпилов. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебной строительной-технической экспертизы", 2021. – 186 с. – ISBN 978-5-6044616-2-4. – DOI 10.51608/9785604461624. – EDN YTOIRW.



2. Применение нормативно-технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений с использованием ЛСТК и настила армирующего "БИЗОН" / В. А. Ерышев, Г. В. Мурашкин, А. Н. Сорочайкин. [и др.] – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебной строительной-технической экспертизы", 2021. – 82 с. – DOI 10.51608/1206572708. – EDN YOVHXL.
3. Патент № 2767308 С1 Российская Федерация, МПК G21D 1/00, E04H 7/20. Атомная электрическая станция : № 2021110529 : заявл. 13.04.2021 : опубл. 17.03.2022 / И. Р. Гейдт, В.И. Римшин [и др.]. – EDN GKNMQN.
4. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры / А. Ф. Бурьянов, Фишер Х.Б. [и др.] // Строительные материалы. – 2016. – № 1-2. – С. 90-95. – EDN VPWHLX.
5. Углебетон: от научных исследований до строительной практики / А.Г. Булгаков, К. Хольшемахер [и др.] // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – С. 580-591. – DOI 10.22337/9785432303134-580-591. – EDN UPEHYZ.
6. Исследование свойств портландцементов с активной минеральной добавкой на основе трепела / В. Т. Ерофеев, А. А. Пиксайкина [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 3. – С. 7-17. – EDN XAGZYK.
7. Химические аспекты процесса устранения трещин бетона с помощью бактерий / В. Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, В. Т. Фомичев // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – № 3. – Т. 5. С.12. – Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/13SATS318.pdf>.
8. Ерофеев, В. Т. О связях параметров несущей фазы с эффективными параметрами в моделях зернистых композитов / В. Т. Ерофеев, А. С. Тюряхин, [и др.] // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 3(278). – С. 11-17. – EDN UQEMUP.
9. Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов / В. Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, В. Ф. Смирнов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – № 4. Т. 5.– С.6 – Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/07SATS418.pdf>.
10. Адилходжаев А. И., Игамбердиев Б. Г. Изготовление волокнистого заполнителя из рисовой соломы и изучение его адгезивных свойств. // UNIVERSUM. Технические науки. – 2020. – № 6 (75). – С. 1–5.
11. Исследование прочности композитов, наполненных порошками карбонатных пород / И.В.Ерофеева, С. А. Коротаев, Д. В. Емельянов [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 1(36). – С. 5-13. – EDN YUKTNZ.
12. Патент № 2743909 С1 Российская Федерация, МПК C04B 28/02. Высокопрочный порошково-активированный бетон : № 2020116209 : заявл. 18.05.2020 : опубл. 01.03.2021 / В. Т. Ерофеев, С.В. Казначеев, А. А. Матвиевский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва". – EDN QNSSNL.
13. Леснов, В. В. Исследование свойств дисперсно-армированных эпоксидных каркасных композитов / В. В. Леснов, Р. Н. Салимов, В. Т. Ерофеев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – № 26(45). – С. 113-117. – EDN PDXNWN.
14. Прочность и параметры разрушения цементных композитов : Монография / И. Н. Максимова, Н. И. Макридин, В. Т. Ерофеев, Ю. П. Скачков. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 360 с.
15. Максимова И. Н. Регрессионные взаимосвязи между параметрами качества, структуры и конструкционной прочности цементного камня / И. Н. Максимова, В. Т. Ерофеев, Н. И. Макридин // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 1. – С. 28–34.
16. Разработка и исследование цементных и полимерных композитов для ремонта мостового сооружения / В. Т. Ерофеев, А. А. Мартынов, В. М. Круглов [и др.] // Транспортные сооружения. – 2021. – Т. 8. – № 2. – DOI 10.15862/04SATS221. – EDN JYVNNP.
17. Использование карбонатно-суглинистых шихт для получения керамических строительных материалов / А. А. Шароватов, С. А. Коротаев, С. А. Молодых, В. И. Митряшкин // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : Материалы Семнадцатой Международной научно-технической конференции, Саранск, 06–08 ноября 2018 года / Ответственный редактор: В. Т. Ерофеев. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2018. – С. 251-253. – EDN YVCPJB.
18. Рахманов, Б. С. Архитектурные древности Хивы как туристический товар / Б. С. Рахманов, В. А. Моисеенко, И. В. Ерофеева // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : Материалы Пятнадцатой Международной научно-технической конференции, Саранск, 26–28 декабря 2016 года / Редколлегия: В.Т. Ерофеев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2017. – С. 49-52. – EDN NKZAFV.
19. Федорцов А. П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения : монография / А. П. Федорцов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 464 с.
20. Ерофеев В. Т., Федорцов А. П., Федорцов В. А. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками. // Строительство и реконструкция. – 2020; – № 2: – С. 51–60.
21. Нестационарный массоперенос в процессах коррозии второго вида цементных бетонов (малые значения чисел Фурье) / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко, Ю. В. Манохина // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1(26). – С. 104-106. – EDN ОРНУСВ.
22. Ерофеев В. Т., Касимкина М. М., Афонин В. В., Черушова Н. В., Митина Е. А., Ерофеева И. В. Программа прогнозирования изменения цвета лакокрасочных материалов. Свид. № 2010616208, зарег. в Реестре программ для ЭВМ. 20.08.2010.
23. Ерофеев В. Т., Афонин В. В., Черушова Н. В., Зоткина М. М., Митина Е. А., Ерофеева И. В. Программа анализа однородности декоративных свойств строительных материалов и изделий на основе ярких и геометрических характеристик. Свид. № 2014612723, зарег. в Реестре программ для ЭВМ. 23.10.2014.



Conference materials

BRIEF SUMMARY OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE "INCREASING THE USE OF LOCAL RAW MATERIALS AND WASTES OF ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA IN THE MANUFACTURING OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS"

© The Author(s) 2023

EROFEEV Vladimir Trofimovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Building Materials and Technologies
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)

PICHUGIN Anatoly Petrovich

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

BOGATOV Andrey Dmitrievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

LESNOV Vitaly Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

For citation: Erofeev V.T., Pichugin A.P., Bogatov A.D., Lesnov V.V. Brief summary of the scientific and technical conference "Increasing the use of local raw materials and wastes of enterprises of the Republic of Mordovia in the manufacturing of building materials and products" // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 14-20. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_14.

N. P. Ogarev's Mordovia State University acted as a welcoming platform for the All-Russian scientific and practical conference. The scientific forum was attended by researchers and scientists from many cities of Russia.

The opening of the conference took place in the conference hall of the university.

Opening speeches were given by the rector of the Ogarev Mordovia State University D. E. Glushko; Minister of Industry, Science and New Technologies of the Republic of Mordovia I. V. Gubaidullin; Minister of Construction and Architecture of the Republic of Mordovia A. A. Grishakin; Rector of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN) Y. L. Skolubovavich; Rector of Penza State University of Architecture and Construction S. A. Boldyrev.

Then in a solemn atmosphere took place the signing of the cooperation agreements in the field of education and science of the Ogarev Mordovia State University with Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN) and Penza State University of Architecture and Construction.

The conference proceeded to address the issues identified in the conference program. The host, V.T. Erofeev, stressed the extreme importance and urgency of some issues related to the recycling of waste of local enterprises in each country, including the possibility of their use in the manufacture of products for the construction industry.

In the second part of the plenary session of the scientific and technical conference, were presented the reports on the study of the properties of effective building materials obtained from industrial waste, local and secondary resources of different regions of the Russian Federation.

One of the central events of the conference at follow-up sessions on 18 and 19 November brought together speakers on issues related to the use of local raw materials and waste from production, the use of additives and new technological techniques to increase the efficiency of construction, the most prepared and advanced in terms of bringing them to factory or workshop implementation.

The final day of the conference program was presented at the Department of Building Materials



and Technologies in the form of poster presentations.

According to the feedback of the conference participants, the involvement of academics and correspondent members of RAACS, leading scientists of regional universities of Russia, rectors of Russian universities, heads of large enterprises of the construction complex of Mordovia set a high standard of reports and scientific debates.

The conference resulted in a decision.

The participants of the scientific conference recognized the continuation of joint scientific activities and the exchange of experience on the results achieved at permanent seminars on innovation activities of researchers.

The information support of the scientific and technical conference was provided by one of the leading publications in the construction industry of Russia - the online scientific and practical publication "EXPERT: THEORY AND PRACTICE".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Материалы поступили в редакцию 25.01.2023; приняты к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The materials was submitted 25.01.2023; accepted for publication 20.02.2023.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Научная статья

УДК 624.045.12

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

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

2.1.9. Строительная механика; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_1_21

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕХАНИКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

© Автор 2023

SPIN: 3990-0345

AuthorID: 527187

КОЛЧУНОВ Владимир Иванович

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры уникальных зданий и сооружений

Юго-Западный государственный университет

(Россия, Курск, e-mail: vlik52@mail.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН

(Россия, Москва)

Аннотация. В статье получены результаты для строительных наук в механике железобетона – изотропная среда между трещинами, «поток-блоки»; «магистральные трещины», эффект железобетона, реакции в несплошности бетона и сплошной арматуре, «среднее суммарное усилие рабочей арматуры» и ширина раскрытия трещин, – гипотезы Томаса-автора. Разработана классификация трещин: регулярные трещины, магистральные трещины на основе эффекта железобетона (истоки – концентрации) и максимальное раскрытие трещины из функции Лагранжа. Предложены гипотезы, теоремы и депланации в трещинах – скачках. Метод расчетной модели сопротивления разработан для стержня, плоских стены, плиты из «конверта» и объемных спиралеобразной, иксообразной и гармошкообразной трещины. Гибрид из Лира (метод конечных элементов железобетона) от эффекта железобетона имеет вид «плоская и пространственная консоль для внешних и внутренних перемещений». Общий принцип от Лолейта до «раскрытия – закрытия» трещин, жесткости получен для метода расчетной модели сопротивления. Действующие российские и зарубежные нормы с участием автораработаны для сопротивления железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях, – монографии для матрицы жесткости зданий. Выполнены проекты сооружений Курской атомной электростанции, пространственные железобетонные здания на виброплатформе в сейсмических районах, а также при землетрясении в Армении, работа в государственной комиссии с участием автора. Впервые проведены экспериментальные исследования высокопрочных бетонов и фибробетонов при сложном сопротивлении.

Ключевые слова: безопасность объектов строительства; строительная механика; эффект железобетона; классификация трещин; модели сопротивления; раскрытие-закрытие трещин; геологические условия; гидротехнические сооружения; виброплатформа; высокопрочный железобетон

Для цитирования: Колчунов В.И. Основные результаты механики железобетона в зданиях и сооружениях // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1(20). С. 21-28. doi:10.51608/26867818_2023_1_21.

Original article

MAIN RESULTS OF REINFORCED CONCRETE MECHANICS IN BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

© The Author(s) 2023

KOLCHUNOV Vladimir Ivanovich

Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof.

Southwest State University

(Russia, Kursk, e-mail: vlik52@mail.ru)

Scientific Research Institute of Construction Physics of the RAABS

(Russia, Moscow)

Annotation. The paper obtained results for building sciences in the mechanics of reinforced concrete - isotropic medium between cracks, "flows-blocks"; "main cracks", the effect of reinforced concrete, reactions in the discontinuity of concrete and continuous reinforcement, "the average total force of the working reinforcement" and crack opening width – Thomas - author



hypothesis. The classification of cracks has been developed: regular cracks, main cracks on the basis of the reinforced concrete effect and the maximum crack opening from the Lagrange function. Hypotheses, theorems and explanations in cracks - jumps are proposed. A computational resistance model method is developed for the rod, flat walls, "envelope" slab and volumetric spiral, x-shaped and umbrella shaped cracks. Hybrid of Lear (finite element method of reinforced concrete) from the effect of reinforced concrete has the form "flat and spatial cantilever for external and internal displacements". The general principle from Loleit to "opening - closing" of cracks, stiffness is obtained for the method of the design model of resistance. Current Russian and foreign standards are obtained with the participation of the author. They are obtained for the resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in complex engineering and geological conditions for the stiffness matrix of buildings. The hydraulic structures of river embankments in Orel, the Kursk nuclear power plant, spatial reinforced concrete buildings on the vibro platform in seismic areas, as well as in an earthquake in Armenia, work in the State Commission with the participation of the author were carried out. Experimental studies of high-strength concretes and fibrous concretes under complex resistance were carried out for the first time.

Keywords: reinforced concrete effect; crack classification; resistance models; crack opening-closing; geological conditions; hydraulic structures; vibration platform; high-strength reinforced concrete

For citation: Kolchunov V.I. Main results of reinforced concrete mechanics in buildings and constructions // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 21-18. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_21.

Введение

Актуальность: последние десятилетия механика железобетона еще не достигла существенных результатов в облике зданий и сооружений из условия новых вызовов техногенного природного и террористического характера [1-5]. Решения этих проблем получено на новом научном уровне благодаря современным технологиям экспериментальных исследований конструкций и сближению физических явлений в железобетоне [6-10], в том числе проблемы ширины раскрытия трещин и жесткости их конструкций [11-13], сопряжено с использованием совершенствующихся прогрессивных разработок на основе механики разрушения.

Цель получить девять результатов РААСН для дальнейшего развития механики железобетона и механики разрушения.

Методы

I. Механика железобетона от научных трудов Н.И. Карпенко [15 и др.] и развития уже имеет новая ветвь (результат I) использует главные предпосылки.

1) Среда железобетона включает силовые потоки из блоков бетона для изотропной среды между трещинами, – «первый объект – потоки (блоки)». «Второй объект, – магистральные трещины» из механики разрушения железобетона использует функционал, двухконсольный элемент и эффект железобетона (автора), суть которого заключается в несплошности бетона и сплошности арматуры, где возникают реакции. В железобетонной конструкции сопротивление растянутого бетона для трансверсально-изотропной среды, – сопротивление растянутого бетона можно передать в рабочую арматуру через общий параметр для специального третьего объекта, – «связи суммарного среднего усилия $N_{s,m,sum}$ рабочей арматуры». Параметры передаются через эффект несплошности бетона и «нагельный» эффект для балки с двумя защемленными концами при по-

воротах заделок, а также раскрытии, сдвиге трещины с максимальной амплитудой перемещений от продольной силы и эксцентриситетов по вертикали и горизонтали и смятия бетона. Автор ввел специальной двухконсольный элемент (ДКЭ) на основе механики разрушения железобетона. При этом получен функционал на основе механики разрушения, где используется уменьшение потенциальной энергии и дополнительная работа тела при продвижении трещины на малое приращение.

2) Ширина раскрытия трещин для гипотезы Томаса - автора заключается в относительных взаимных смещениях арматуры и бетона для решения однородного дифференциального уравнения. Расстояние между трещинами определяется из соотношений неравенств, основного параметр ψ_s и ширины раскрытия трещин (для эффекта железобетона).

3) Классификация магистральных трещин имеет вид:

регулярные трещины проф. Н.И. Карпенко, – анизотропная среда железобетона без эффекта железобетона и раскрытия – закрытия трещин, – а также магистральные трещины автора на основе эффекта нарушения сплошности железобетона (базовые трещины, истоки - концентрации: геометрические, силовая, внешние и внутренние перемещения, а также межсредовая). Предложены расчетные модели сопротивления железобетона для анализа систем (стержневые, плоские и пространственные) в различных типах трещин. Для определения максимальной ширины раскрытия трещины используют функцию Лагранжа в замкнутых уравнениях механики железобетона.

4) Автором предложены новые гипотезы и теоремы:

– первая – о распределения линейных деформаций $\epsilon_{x,b}$ и $\epsilon_{x,s}$, используя специальную геометрическую объемную фигуру для деформации поперечного сечения железобетонного элемента из упруго-



пластических стадий I-III и скачки – трещины, а также вторая гипотеза о распределении угловых суммарных относительных деформаций сдвига бетона и арматуры ($\gamma_{sum,b}$ и $\gamma_{sum,s}$), используя специальную геометрическую фигуру для депланации поперечного сечения железобетонного элемента из упругопластических стадий I-III, скачки - трещины и теоремы 1-3.

5) Разработаны аналитические функционалы (первый – четвертый) при решении системы предложенных сложных функций из семейств метода сеток в сжатой и растянутой зонах с помощью малых квадратов на всех стадиях напряженно-деформированного состояния.

6) Жесткость из-за пересекающихся трещин для единичной полоски использует гипотезу, которая позволила для железобетона на порядок сократить дифференциальные уравнения составных конструкций А.Р. Ржаницына [14]. Матрица жесткости построена для прямоугольных поперечных сечений с помощью малых квадратов для статических (равновесия), геометрических (деформации) и физических уравнений.

II. Метод расчетной модели сопротивления МРМС для строительной механики, - результат II:

1) Расчетные модели сопротивления МС полностью отвечают современной тенденции развития деформационных моделей теории железобетона (рис. 1), обозначаемой сегодня понятием иерархия: сечение – элемент – система; уровни, -

стержень, плоский и объемный; структурные схемы, безитерационные или малоитерационные алгоритмы. Выполнен анализ первой модели (МС1) в виде стержня с магистральными нормальными трещинами для аналитического функционала МР и второй модели (МС2) магистральных наклонных трещин между связей арматуры и блоков бетона, через замкнутые уравнения. Их включили в функцию Лагранжа для отыскание опасной трещины из веера нескольких наклонных трещин. Третья модель (МС3) сопротивления имеет диагональные и другие трещины и податливость узлов в отличие от жестких узлов из строительной механики. Модель МС4 – стена с магистральными наклонными трещинами, а также диагональными (сейсмическими) трещинами, а МС4а – плита с магистральными трещинами из «конверта». В модели МС5 используются объемные пространственные блоки при кручении с изгибом, - спиралеобразная и иксообразная трещины из пучка билинейной поверхности; МС5а -объемные пространственные блоки при действии кручения с изгибом и поперечной силы.

2) В пространственной расчетной модели сопротивления при изгибе с кручением используются двухконсольные элементы, а также универсальный двухконсольный элемент в железобетоне.

3) Применение метода начальных параметров для сжато-изогнутой оси в виде сплайна представляет собой общее решение дифференциального



Рис. 1. Многоуровневый алгоритм развития метода расчетных моделей сопротивления для механики железобетона (а) (начало)

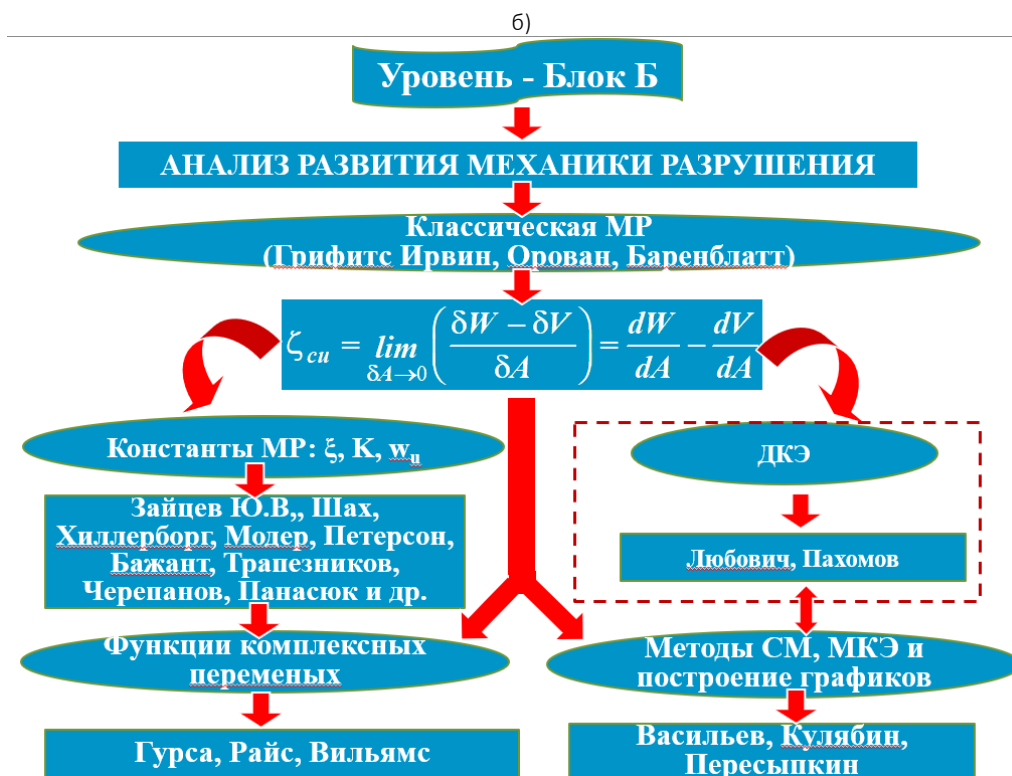


Рис. 1. Уровень – блок Б для анализа развития механики разрушения (б) (окончание)

уравнения для перемещений, - внешних ($a_{crс}$ и $\delta(\Delta_{crс}), \varphi_i, \theta_i$) и внутренних ($\Delta_1, \Delta_2, \varphi_1, \varphi_2, \Delta\varphi_{crс}$). При этом используется классификация строительной механики (проф. Н.В. Корноухова) для активных или пассивных параметров; функции Крылова-Власова – система из четырёх функций, представляющих собой общее решение дифференциального уравнения в виде линейной комбинации четырёх функций, что позволяет получить рекуррентные зависимости в i -й связи деформируемого основания от заданного единичного вектора внешних сил, т. е. модуль вектора силового (деформационного) воздействия.

III. Второго метода автора, - численный - аналитический «ГИБРИД». Он соединяет методы расчетные модели сопротивления железобетона (МРМС) и конечных элементов (МКЭ) в интеллекте ВК «ЛИРА» и проблемы раскрытия трещин из создание эффекта железобетона в виде несплошности бетона и реакция арматуры на основе механики разрушения. При этом важны не только усилия и внешние, но и внутренние перемещения из трещин (из консоли – плоская и пространственная), - $S_i, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \delta\Delta_{crс}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_{crс}$ - третий результат [12-13].

IV. Общий принцип от работ проф. А. Ф. Лолейта до «раскрытия – закрытия» трещин в рабочем армировании и жесткости железобетонных конструкций, зданий и сооружений с учетом развития механики железобетона (метод МРМС), - четвертый результат [12]. Экономичное расходование материала (используют эпюру материалов, - сталь) в балках

- $\xi=0,3-0,4, \mu=1\%-2\%$; в плитах - $\xi=0,10-0,15, \mu=0,3\%-0,6\%$; в колоннах - $\xi=0,4; \mu=$ до $3,0\%$.

V. Действующие российские и зарубежные нормы с участием автора, - пятый результат:

- 1) СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения»;
- 2) «Пособие по расчету железобетонных элементов, работающих на кручение с изгибом» к СП 63.13330.2018 для ФАУ "ФЦС" Минстроя России (Регистрационный номер АААА–А20–120060190077–1, заказчик: ФАУ "ФЦС", сроки проведения: 19.05.20–31.12.20);
- 3) Правила проектирования «Строительство в сейсмических районах Украины: ДБН В.1.1-12-2014»;
- 4) Практическое пособие по расчету железобетонных конструкций, по действующим нормам Украины (ДБН В. 2.6-98:2009) и новым моделям деформирования, разработанным на их замену;
- 5) Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б.В.2.6–156:2010;

VI. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях (рис. 2) и расчетные схемы с применением нового метода строительной механики железобетона расчетных моделей сопротивления, - шестой результат, - [16-17].

VII. Научно-техническое обоснование сооружений хранилища ядерных отходов и грунты курской



атомной электростанции АЭС (рис. 3), - седьмой результат.

Проведено исследование живучести каркасов комплекса зданий и научно-техническое обоснова-

ние конструктивной безопасности сооружений хранения ядерных отходов и грунтов Курской АЭС, в том числе при аварийных воздействиях для продления срока эксплуатации 2013-2022 гг. (расчетные

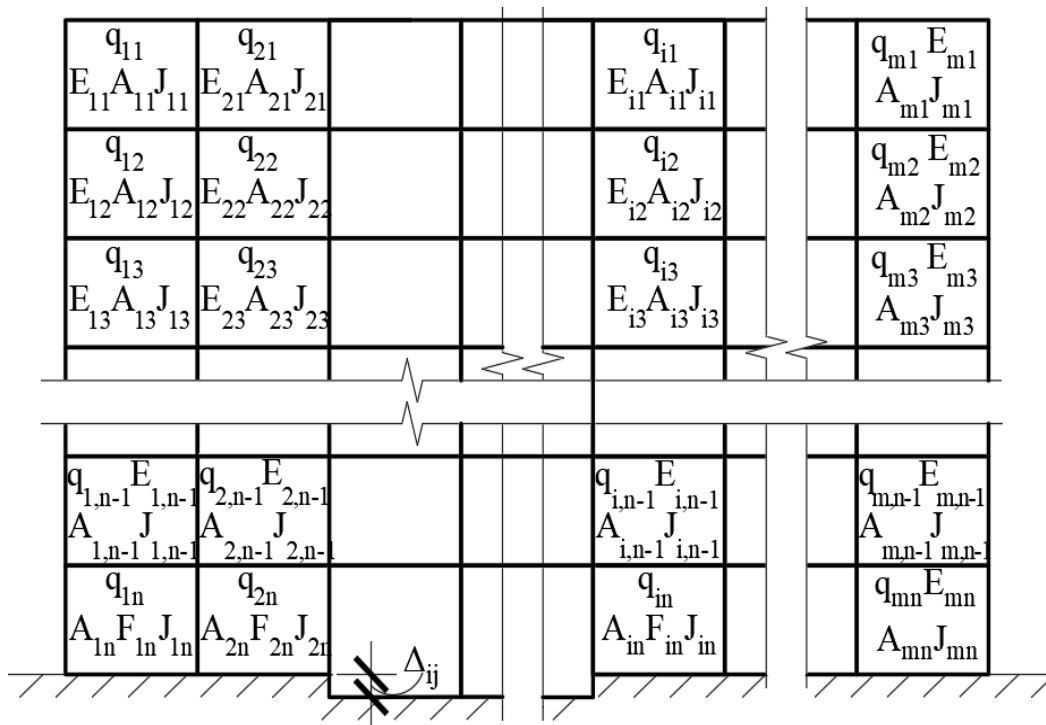


Рис. 2. Матрица жесткости железобетона здания для определения усилий в связях вертикальных и горизонтальных стыков

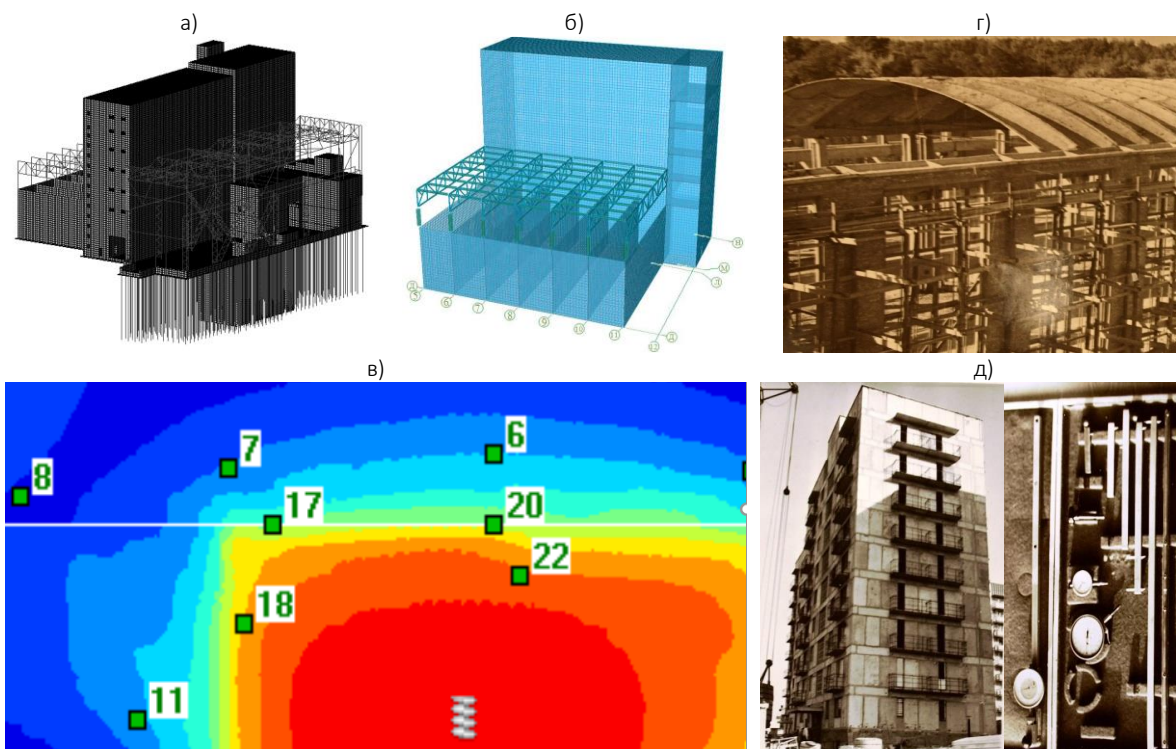


Рис. 3. Внедрение результатов исследований при строительстве реконструкции Курской АЭС (а-б), и исследовании ее грунтов (в), экспериментальных пространственных зданий (г, д) (начало)

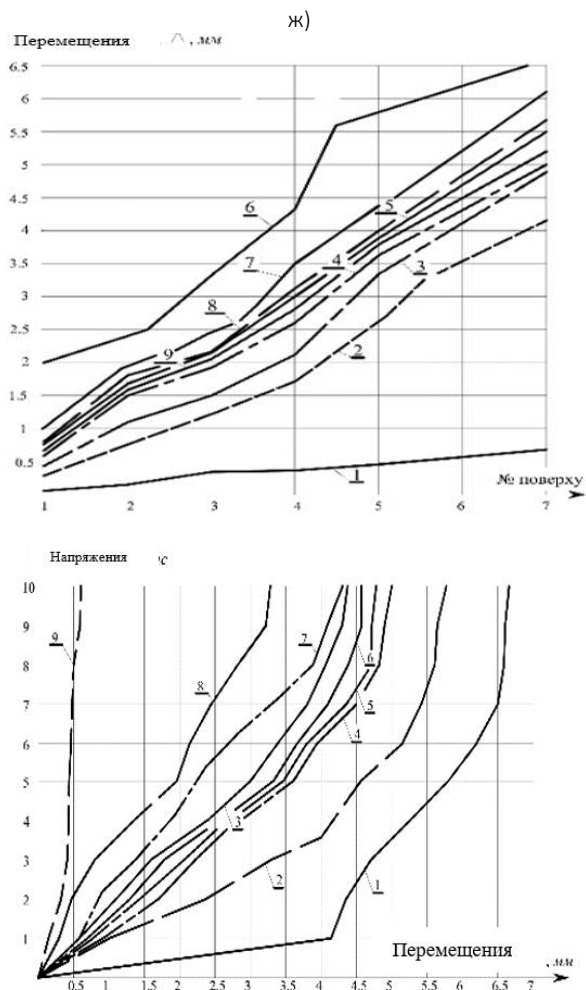
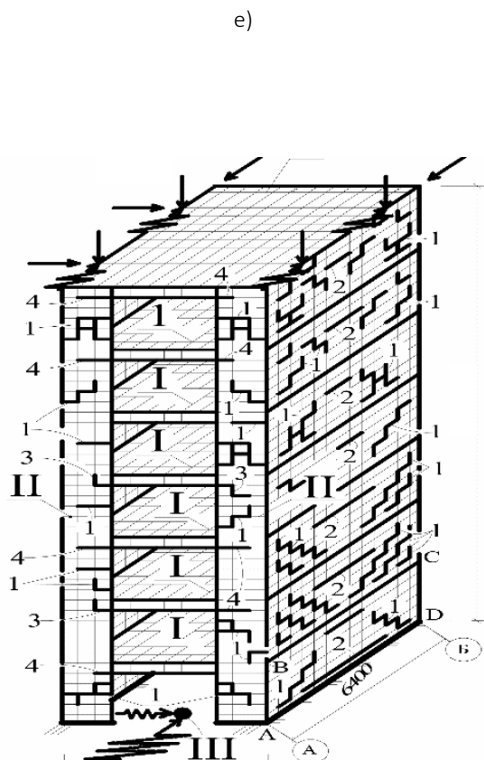


Рис. 3. Внедрение результатов исследований при строительстве зданий на виброплатформе (е), а также зависимостей при перемещений (ж) (окончание)

схемы с применением нового метода строительной механики железобетона расчетных моделей сопротивления).

VIII. Экспериментальные пространственные железобетонные здания и зданий на виброплатформе в сейсмических районах, - восьмой результат [18-20].

В результате разработаны пространственные железобетонные здания (более 90 тыс. м²) в Краснодарском крае, Узбекистане (Ташкент), а также при особых сейсмических воздействиях от землетрясения в Армении (г. Спитак), - работа в государственной комиссии с участием автора.

IX. Высокопрочный железобетон, - девятый результат [21]. В содружестве НИИЖБ, НИИСФ РААСН, ЮЗГУ в рамках программы ФНИ ГАН России на 2013-2021 годы впервые проведены экспериментальные исследования высокопрочных фибробетонных и железобетонных сложных железобетонных конструкций при изгибе с кручением (2017-2022 гг., - статьи высокопрочных В100 и фибро - высокопрочных В100 конструкций при изгибе с кручением, - В. И. Травуш, Н. И. Карпенко, Вл. И. Колчунов, С. С. Каприелов, А. И. Демьянов, С. А. Булкин). В 2020 году в со-

авторстве разработано «Пособие по расчету железобетонных элементов, работающих на кручение с изгибом» по заказу «Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» Минстроя России.

X. Прогноз развития механики железобетона включает в себя следующие направления.

Развитие эффекта железобетона, построение новых гипотез линейных и угловых деформаций, а также теорем для депланации сечения и скачки-трещины; механику железобетона, в том числе решение проблемы ширины раскрытия трещин и жесткости; аналитические теоремы механики разрушения железобетона и функционалы; построение универсального двухконсольного элемента (ДКЭ) в упругопластическом железобетоне с трещинами; создание общего принципа железобетона и более глубокая экспериментальная их проверка.

Выводы

1. Развитие механики железобетона и основные предпосылки, - первый результат:

Среда включает силовые потоки-блоки для изотропной среды между трещинами, - «первый



объект – потоки (блоки)»; местная область около берегов трещины и податливость универсального двух-консольного элемента в механике разрушения железобетона; «второй объект, – магистральные трещины» и эффект железобетона (физическая суть заключается в несплошности бетона и сплошной арматуре, где их возникают градиент реакции для деформации арматуры, сцепления и в сжатого бетона в растянутой области; среднее сопротивление растянутого бетона в трансверсально-изотропной среде передается в рабочую арматуру через «среднего суммарного усилия рабочей арматуры, эффект железобетона и «нагельный» эффект. Средний специальный третий объект, – «связи суммарного среднего усилия рабочей арматуры», – главный вектор для смещения арматуры в трещине по ортогональным направлениям связаны между углом бетта. При этом относительные взаимные смещения арматуры и бетона используются для отыскания и гипотеза Томаса – автора.

Разработана новая классификация трещин, – регулярные трещины (анизотропная среда железобетона), магистральные трещины на основе эффекта железобетона (истоки-концентрации) и максимальная ширина раскрытия трещины в замкнутых уравнениях механики железобетона из функции Лагранжа.

Предложены гипотезы и теоремы линейных, угловых деформаций и аналитические функционалы (из семейств сеток) для депланации (из вычитания треугольников) поперечного сечения железобетонного элемента в упругопластической стадии, а также гипотеза жесткости в единичной составной полоске, сокращающая порядок дифференциальных уравнений, и матрица прямоугольных поперечных сечений с помощью малых квадратов, – свернуть – развернуть для статических, геометрических и физических уравнений, – первый результат.

2. Метод расчетной модели сопротивления для механики железобетона, – трещинами, – стержень, стена, плита из «конверта» и блоки из спиралеобразная, иксообразная и гармошкообразная трещина; в железобетоне применение метода начальных параметров для сжато-изогнутая ось в виде сплайна, представляет собой общее решение дифференциального уравнения для внешних и внутренних перемещений, – второй результат.

3. Гибрид из Лира (метод конечных элементов железобетона из анизотропии), – третий результат: без эффекта железобетона для двух конечных элементов в виде, – «плоская и пространственная консоль из усилия и внешние и внутренние перемещения», – третий результат.

4. Общий принцип от работ А.Ф. Лолейта до «раскрытия – закрытия» трещин с учетом развития механики железобетона в виде метода расчетной модели сопротивления, – четвертый результат.

5. Действующие российские и зарубежные нормы с участием автора, – пятый результат: своды правил, «Пособие по расчету железобетонных элементов, работающих на кручение с изгибом» Минстроя России и Правила проектирования в сейсмических районах, а также по расчету железобетонных конструкций по новым моделям деформирования.

6. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях, – шестой результат, где используется матрица жесткости железобетонных зданий для определения усилий в связях вертикальных и горизонтальных стыков.

7. Научно-техническое обоснование сооружения хранилища ядерных отходов и грунты Курской АЭС для продления срока эксплуатации (2013-2022гг.) с применением нового метода строительной механики железобетона расчетных моделей сопротивления, – седьмой результат.

8. Экспериментальные пространственные железобетонные здания и здания на виброплатформе в сейсмических районах, – восьмой результат. Разработаны пространственные железобетонные здания в Краснодарском крае, Узбекистан (Ташкент), а также здания при особых сейсмических воздействиях от землетрясения в Армении (г. Спитак), – в государственной комиссии с участием автора.

9. Высокопрочный железобетон, – девятый результат, – в содружестве НИИЖБ, НИИСФ РААСН, ЮЗГУ впервые проведены экспериментальные исследования высокопрочных бетонов и фибробетонов при изгибе с кручением за последние 5 лет (2017-2022 гг.). Разработано «Пособие по расчету железобетонных элементов, работающих на кручение с изгибом» по заказу «Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» Минстроя России в 2020 году.

Библиографический список

1. Kim, C., Kim, S., Kim, K.-H., Shin, D., Haroon, M., Lee, J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars // *ACI Structural Journal*. 2019. – 116.Pp. 251-233.
2. Bernardo, L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion // *Applied Sciences*. 2019.Vol. 9. p. 2730.
3. Lin, W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments // *Advances in Structural Engineering*, 2021.Vol. 24(6).Pp. 1456–1465.
4. Křístek V., Průša J., Vítek J.L. Torsion of Reinforced Concrete Structural Members // *Solid State Phenomena*. 2018. Vol. 272. Pp. 178-184.
5. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study // *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2007. No. 7. Pp. 1–7.



6. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
7. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9(13). p. 2750.
8. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model // *International Journal of Mechanical Sciences*. 2005. Vol. 47. Pp. 1477–1497.
9. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites // *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.
10. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes // *KSCCE Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475.
11. Голышев, А. Б. Сопротивление железобетона / А. Б. Голышев, В. И. Колчунов. – Киев : Основа, 2009. – 432 с. – ISBN 978-966-699-507-3. – EDN WLZJYN.
12. Бондаренко, В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – Москва : Издательство АСВ, 2004. – 471 с. – ISBN 5-93093-279-4. – EDN QNKPAR.
13. Справочное пособие по строительной механике : в двух томах / Ю. В. Верюжский, А. Б. Голышев, В. И. Колчунов [и др.]. Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 432 с. – ISBN 978-5-4323-0007-2. – EDN WLTZFH.
14. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений / Х. З. Баширов, В. И. Колчунов, В. С. Федоров, И. А. Яковенко. – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 248 с. – ISBN 978-5-4323-0200-7. – EDN TKGLTL.
15. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат. 1996. – 410 с.
16. Голышев, А. Б. Сопротивление железобетонных конструкций, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях / А. Б. Голышев, В. И. Колчунов. – Киев : Основа, 2010. – 286 с. – ISBN 9939666995790. – EDN WLZJHZ.
17. Голышев, А. Б. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях / А. Б. Голышев, В. И. Колчунов, И. А. Яковенко. – Киев : Талком, 2015. – 371 с. – ISBN 978-617-7133-77-2. – EDN WLTKYN.
18. Kolchunov, V. I. The modeling method of discrete cracks in reinforced concrete under the torsion with bending / V. I. Kolchunov, A. I. Dem'yanov // *Magazine of Civil Engineering*. – 2018. – No. 5(81). – P. 160-173. – DOI 10.18720/MCE.81.16. – EDN YLSYZF.
19. Способ усиления каркаса многоэтажного здания при неравномерных осадках фундаментов / В. И. Колчунов, И. М. Дьяков, С. В. Гречишников, М. И. Дьяков // *Строительство и реконструкция*. – 2019. – № 5(85). – С. 63-73. – DOI 10.33979/2073-7416-2019-85-5-63-73. – EDN OKFBCZ.
20. Особенности расчета сейсмостойкости крупнопанельных зданий / С. Г. Емельянов, Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков [и др.] // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2013. – № 12. – С. 64-70. – EDN RSQADF.
21. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом / В. И. Травуш, Н. И. Карпенко, В. И. Колчунов [и др.] // *Строительство и реконструкция*. – 2018. – № 6(80). – С. 32-43. – EDN VQNSNS.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.



Научная статья

УДК 69.059

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

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

2.1.9. Строительная механика; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_1_29

КОМПОЗИТНОЕ УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

© Авторы 2023

SPIN: 9629-5322

AuthorID: 420903

ORCID 0000-0003-0209-7726

РИМШИН Владимир Иванович

член-корреспондент РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

(Россия, Москва e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

SPIN: 9629-5322

AuthorID: 420903

ORCID 0000-0003-0209-7726

СУЛЕЙМАНОВА Людмила Александровна

доктор технических наук, профессор

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

(Россия, Белгород, e-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru)

SPIN: 8237-9002

AuthorID: 1144529

ORCID 0000-0002-7104-3214

АМЕЛИН Павел Андреевич

аспирант

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

(Россия, Белгород, e-mail: p.amelin@inbox.ru)

SPIN: 2879-1383

AuthorID: 773018

ORCID 0000-0002-4131-6138

ФРОЛОВ Николай Викторович

кандидат технических наук, доцент

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

(Россия, Белгород, e-mail: frolov_pgs@mail.ru)

Аннотация. Железобетонные конструкции в процессе эксплуатации подвергаются действию агрессивных сред, вызывающих повреждения бетона и арматуры. Опасным видом повреждений является скрытая коррозия арматуры, которая возникает в конструкциях, подверженных воздействиям хлоридов. Изменение поперечного сечения рабочей арматуры влечет уменьшение несущей способности изгибаемых элементов. Восстановление несущей способности достигается мерами по усилению поперечного сечения, в том числе с использованием технологии внешнего композитного армирования. В статье рассмотрена методика расчета усиления железобетонных элементов, имеющих повреждения растянутой арматуры, с помощью внешнего композитного армирования. Производится верификация результатов расчета потери несущей способности с экспериментальными данными и производится расчет площади композитного армирования изгибаемых элементов для разной степени повреждения стальной арматуры.

Ключевые слова: хлоридная коррозия; арматура; несущая способность; усиление; верификация; эксперимент; коррозионное повреждение; изгибаемые элементы; строительная механика; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Композитное усиление железобетонных изгибаемых элементов, поврежденных под воздействием хлоридной агрессивной среды / В.И. Римшин, Л.А. Сулейманова, П.А. Амелин, Н.В. Фролов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1(20). С. 29-34. doi:10.51608/26867818_2023_1_29.



Original article

COMPOSITE STRENGTHENER OF REINFORCED CONCRETE BENDABLE ELEMENTS DAMAGED UNDER THE INFLUENCE OF CHLORIDE AGGRESSIVE ENVIRONMENT

© The Author(s) 2023

RIMSHIN Vladimir Ivanovich

Corresponding Member of RAACS, Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, Moscow, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

SULEYMANOVA Lyudmila Aleksandrovna

Dr. of Technical, Prof.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, Belgorod, e-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru)

AMELIN Pavel Andreevich

PhD Candidate

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, Belgorod, e-mail: p.amelin@inbox.ru)

FROLOV Nikolay Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, Belgorod, e-mail: frolov_pgs@mail.ru)

Annotation. Reinforced concrete structures during operation are exposed to aggressive environments that cause damage to concrete and reinforcement. A dangerous type of damage is the latent corrosion of fittings, which occurs in structures exposed to chlorides. A change in the cross-section of the reinforcement entails a decrease in the bearing capacity of the bent elements. The restoration of the bearing capacity is achieved by measures to strengthen the cross-section, including using the technology of external composite reinforcement. The article discusses the method of calculating the reinforcement of reinforced concrete elements that have damage to stretched reinforcement using external composite reinforcement. The results of the calculation of the load-bearing capacity loss are verified with experimental data, and the area of composite reinforcement of the bent elements is calculated for varying degrees of damage to steel reinforcement.

Keywords: chloride corrosion; reinforcement; bearing capacity; reinforcement; verification; experiment; bending elements

For citation: Composite strengthener of reinforced concrete bendable elements damaged under the influence of chloride aggressive environment / V.I. Rimshin, L.A. Suleymanova, P.A. Amelin, N.V. Frolov // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 29-34. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_29.

Введение

Железобетонные изгибаемые конструкции в процессе длительной эксплуатации помимо силового нагружения подвержены влиянию агрессивных жидких и газообразных сред, вызывающих необратимые коррозионные повреждения бетона и арматуры. Вопросу воздействия агрессивных сред на бетонные и железобетонные изделия и конструкции посвящено большое количество научных работ [1-11]. Коррозионные повреждения железобетона приводят к снижению его силового сопротивления, жесткости, смене расчетной схемы и степени статической неопределимости конструкций.

Наиболее опасным видом повреждений считается скрытая коррозия арматуры, которая чаще всего характерна для конструкций, находя-

щихся под воздействием хлоридной агрессивной среды. Хлориды могут воздействовать на железобетон как изнутри (при превышении допустимой концентрации в составе бетона), так и снаружи (при эксплуатации морских сооружений, мостов и паркингов) [6-11]. Вследствие протекания коррозионных процессов в первую очередь изменяется фактическая площадь поперечного сечения, центр тяжести арматуры. Продукты коррозии (ржавчина) имеют объем в 3-5 раз больше, чем у стали до процесса коррозии, что может в результате вызвать накопление внутренних напряжений и отслаивание защитного слоя бетона. С течением времени поврежденные конструкции могут перестать соответствовать требованиям по двум группам предельных состояний.



В связи с этим, актуальным решением данной проблемы является своевременное усиление изгибаемых элементов, восстановление или увеличение их несущей способности. В настоящее время имеется существенный опыт исследований по усилению железобетонных конструкций [11-19]. Относительно новым решением является способ усиления конструкций композитными материалами. Данные материалы имеют сравнительно лучшие физико-механические характеристики, чем сталь и бетон, а именно более высокие значения модуля упругости, сопротивления растяжению, лучшие показатели химической коррозионной стойкости, малый вес.

Методология

Расчет усиления конструкции, имеющей повреждения стальной растянутой арматуры, состоит из двух этапов:

- расчет фактической площади поперечного сечения арматуры;
- расчет усиления методом предельных усилий.

Фактическая площадь поперечного сечения арматуры зависит от характера повреждения и глубины коррозии. Существуют расчетные модели, позволяющие определить величину коррозионного повреждения арматуры [5; 21], в которых выделяются такие виды повреждения: сплошная равномерная, язвенная, неравномерная коррозия (плоский фронт, серповидный фронт с различными степенями обхвата).

Соответственно, площадь поперечного сечения A_s^{cor} находится по формуле:

$$A_s^{cor} = A_s - A^{cor}, \quad (1)$$

где A_s – проектная площадь поперечного сечения; A^{cor} – расчетная площадь коррозионного повреждения

Расчет усиления начинается с определения первоначальной M_{ult} и фактической M_{cor} несущей способности сечения, для прямоугольных сечений определяемая по формуле:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5 x) + R_{sc} A_s (h_0 - a) \quad (2)$$

$$M_{cor} = R_b b x_{cor} (h_0 - 0.5 x) + R_{sc} A_s (h_0 - a) \quad (3)$$

где: R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию; R_{sc} – расчетное сопротивление арматуры сжатию (в сжатой зоне); b – ширина сечения; x и x_{cor} – высота сжатой зоны неповрежденного и фактического бетона, определяемые по формулам:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A_s}{R_b b} \quad (4)$$

$$x_{cor} = \frac{R_s A_s^{cor} - R_{sc} A_s}{R_b b}, \quad (5)$$

где h_0 – рабочая высота сечения, определяемая как разница высоты сечения h и толщины защитного

слоя бетона a и a' ; R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению (в растянутой зоне).

После этого согласно СП 164.13330.2014 определяются и рассчитываются исходные параметры композитного материала для усиления конструкции R_f , E_f (модуль упругости композита). Расчетное сопротивление композитного материала растяжению R_f определяется по формуле:

$$R_f = \min \left[\frac{\gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn}}{\gamma_f}, \left(\varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s0} \right) \cdot E_f \right], \quad (6)$$

где γ_f – коэффициент надежности композитного материала, зависящий от типа материала и группы предельных состояний; γ_{f1} – коэффициент условия работы композитного материала, зависящий от типа материала и условий эксплуатации; ε_{s2} – предельные относительные деформации арматуры, определяемые согласно СП 63.13330.2018; γ_{f2} – коэффициент условия работы композитного материала, учитывающий его сцепление с конструкцией, и определяемый по формуле:

$$\gamma_{f2} = \min \left[\frac{0.9}{2.5 \cdot \varepsilon_{f,ult} \sqrt{n \cdot E_f \cdot t_f}}, 1 \right], \quad (7)$$

где n – предполагаемое количество слоев композитного материала; t_f – толщина одного слоя композитного материала; $\varepsilon_{f,ult}$ – предельные относительные деформации, определяемые по формуле:

$$\varepsilon_{f,ult} = \frac{R_{f1}}{E_f}. \quad (8)$$

При этом R_{f1} определяется по формулам (6-7) с коэффициентом γ_{f2} принятым со значением 1.

ε_{s0} – начальные относительные деформации поврежденной арматуры, определяемые по формуле:

$$\varepsilon_{s0} = \frac{M_{cor}}{E_b I_{red}} (h_0 - x_{cor}), \quad (9)$$

где E_b – модуль упругости бетона; I_{red} – приведенный момент инерции сечения железобетонного элемента, определяемый по формуле:

$$I_{red}^{cor} = \frac{b x_{cor}^3}{3} + \alpha A_s^{cor} (h_0 - x_{cor})^2 + \alpha A_s (x_{cor} - a')^2. \quad (10)$$

Расчетная площадь композитной арматуры A_f , необходимой для восстановления несущей способности определяется по формуле:

$$A_f = \frac{M_{ult} - M_{cor}}{R_f a}. \quad (11)$$

Для верификации расчета необходимо выполнение условия $\xi_f \leq \xi_{rf}$. Данные значения определяются по формулам:

$$\xi_f = \frac{x_f}{h} = \frac{x_{cor} + \frac{A_f R_f}{R_b b}}{h} \quad (12)$$

$$\xi_{rf} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_f + \varepsilon_{b0}}{\varepsilon_{b2}}}, \quad (13)$$

где h – высота сечения; x_f – высота сжатой зоны усиленного сечения; ω – характеристика сжатой зоны



бетона, обычно равна 0,8; ε_f – предельные относительные деформации композитного материала, определяемые по формуле:

$$\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f'} \quad (14)$$

где ε_{b0} – начальные относительные деформации сжатого бетона, определяемые по формуле:

$$\varepsilon_{b0} = \frac{M_{cor}}{E_b \cdot I_{red}} \chi_{cor} \quad (15)$$

где ε_{b2} – предельное значение относительных деформаций бетона.

Результаты и обсуждение

Для верификации данного расчета приведем сравнение полученных результатов из зависимостей (1-15) и экспериментальных данных испытания железобетонных изгибаемых элементов, находящихся длительное время в хлоридной агрессивной среде [20]. Геометрические характеристики и схема армирования железобетонных балок представлены на рисунке.

Физико-механические характеристики бетона и арматуры, использованных при испытании представлены в табл. 1.

Железобетонные элементы выполнены плоскими одиночными каркасами с рабочей растянутой арматурой в виде стержней $\varnothing 8$ мм класса А240. Кон-

структивная арматура в сжатой зоне представлена в виде стержней $\varnothing 4$ мм класса В500. Проектный класс бетона В20. Данные экспериментальные исследования проводились с различной длительностью агрессивного воздействия, равной 180, 360, 720 и 1080 суток с момента набора проектной прочности бетона, соответственно для каждой длительности изменялись фактические свойства растянутой арматуры – глубина коррозии, приведенный диаметр, модуль упругости, предел текучести и временное сопротивление растяжению. В бетоне изменялись такие характеристики, как прочность на сжатие и модуль упругости.

В качестве материала усиления используется углеволоконная лента толщиной слоя 0.14 мм, прочностью на растяжение R_{fn} – 1600 МПа, модулем упругости E_f – 150 ГПа.

Так как наибольшие повреждения стальной арматуры при хлоридной агрессии обнаруживаются в сечениях с поперечными трещинами, в рамках расчета в качестве коррозионного закона принимается модель развития по типу плоский фронт.

В качестве исходных данных для верификации модели усиления принято значение разрушающего момента M_{exp} для каждого этапа коррозионного испытания. Расчетными данными, позволяющими оце-

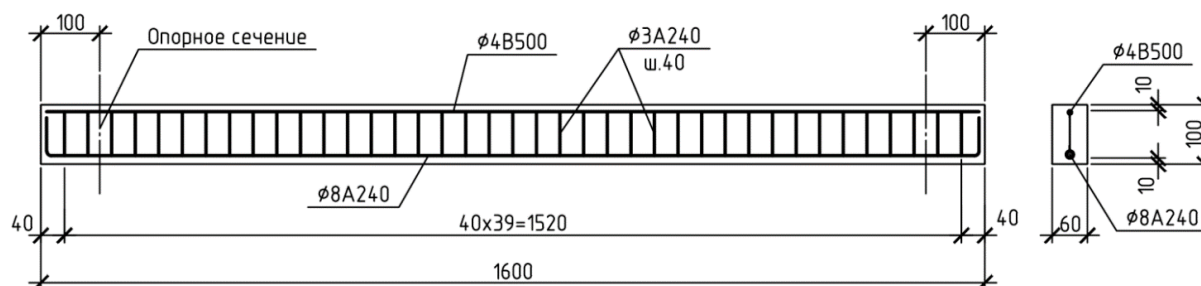


Рис. Геометрические характеристики и схема армирования испытанных железобетонных балок

Таблица 1. Физико-механические характеристики бетона и арматуры

Характеристики	Длительность силовых и средовых воздействий t , сут.				
	0	180	360	720	1080
Бетон					
Призменная прочность на сжатие R_b , МПа	23.8	29.6	29.9	30.0	29.7
Начальный модуль упругости E_b , МПа	30000	34000	34000	34500	34100
Арматура					
$\varnothing 8A240$					
Диаметр d_s / глубина	7.92 / 0.00	7.56 / 0.36	7.20 / 0.72	6.86 / 1.06	6.68 / 1.24
Начальный модуль упругости E_s , МПа	182500	182800	182500	179300	179900
Предел текучести σ_T ($\sigma_{0,2}$) / времен. сопрот. σ_b , МПа	456.2 / 534.0	448.1 / 531.3	446.9 / 527.2	443.7 / 526.1	441.8 / 525.1
$\varnothing 4B500$					
Начальный модуль упругости E_s , МПа	196900				
Предел текучести σ_T ($\sigma_{0,2}$) / времен. сопрот. σ_b , МПа	568.2 / 611.8				



нить сходимость зависимостей (1-15) с экспериментальными данными по каждому образцу являются площадь поперечного сечения A_s^{cor} , несущая способность неповрежденных балок M_{ult} и поврежденных балок M_{cor} . По результатам данных определялись недостающая несущая способность для определения необходимой величины усиления ΔM , площадь и количество слоев композитного усиления A_f и n (табл. 2).

способности составляла 0,1% и 0,66% соответственно, а площадь композитного усиления A_f составляла 11,31 мм².

4. Для образцов, находящихся под воздействием хлоридной агрессивной среды 720 суток БОХ-720-1, БОХ-720-2 погрешность в определении несущей способности составляла 0,93% и 0,69% соответственно, а площадь композитного усиления A_f составляла 24,95 мм².

Таблица 2. Результаты натурных испытаний и проведенного расчета

Длительность силовых и средовых воздействий перед испытанием до разрушения. сут	Данные испытаний			Данные расчета						
	Маркировка образца	Разрушающая нагрузка. кН	Разрушающий момент M_{exp} . кНм	Площадь сечения A_s^{cor} . см ²	Разрушающий момент M_{ult} . кНм	Разрушающий момент M_{cor} . кНм	Погрешность расчета. $(M_{exp} - M_{ult}) / (M_{exp} - M_{cor})$. %	Недостающий разрушающий момент. кНм	Необходимая площадь композитного армирования A_f . мм ²	Количество принятых слоев n . шт
0	БК-0-1	6.273	1.834	0.493	1.868		1.85			
	БК-0-2	6.292	1.840	0.493	1.868		1.55			
	БК-0-3	6.281	1.837	0.493	1.868		1.72			
180	БОХ-180-1	6.229	1.822	0.485	1.855	1.826	0.24	0.03	4.07	1
	БОХ-180-2	6.203	1.814	0.485	1.855	1.826	0.66	0.03	4.07	1
360	БОХ-360-1	6.046	1.768	0.471	1.851	1.770	0.10	0.08	11.31	2
	БОХ-360-2	6.012	1.758	0.471	1.851	1.770	0.66	0.08	11.31	2
720	БОХ-720-1	5.846	1.710	0.454	1.838	1.696	0.79	0.14	19.83	3
	БОХ-720-2	5.868	1.716	0.454	1.838	1.696	1.16	0.14	19.83	3
1080	БОХ-1080-1	5.701	1.667	0.444	1.830	1.652	0.93	0.18	24.95	3
	БОХ-1080-2	5.609	1.640	0.444	1.830	1.652	0.69	0.18	24.95	3

Сравнение данных испытаний позволили определить погрешность расчета натурального эксперимента и приведенного расчета:

1. Для образцов БК-0-1, БК-0-2, БК-0-3 погрешность в определении несущей способности составляла 1,85%, 1,55% и 1,72% соответственно.

2. Для образцов, находящихся под воздействием хлоридной агрессивной среды 180 суток БОХ-180-1, БОХ-180-2 погрешность в определении несущей способности составляла 0,24% и 0,66% соответственно, а площадь композитного усиления A_f составляла 4,07 мм².

3. Для образцов, находящихся под воздействием хлоридной агрессивной среды 360 суток БОХ-360-1, БОХ-360-2 погрешность в определении несущей

5. Для образцов, находящихся под воздействием хлоридной агрессивной среды 1080 суток БОХ-1080-1, БОХ-1080-2 погрешность в определении несущей способности составляла 0,79% и 1,16% соответственно, а площадь композитного усиления A_f составляла 19,83 мм².

6. Наибольший процент погрешности расчета несущей способности сечения железобетонного изгибаемого элемента составляет 1,16 %, что означает высокую сходимость расчета.

Выводы

Таким образом, приведенные зависимости позволяют определять величину композитного усиления для восстановления увеличения несущей способности



изгибаемых железобетонных элементов, имеющих повреждение стальной арматуры растянутой зоны.

Библиографический список

1. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защит. – М.: 1980. 536 с.
2. Бондаренко, В. М. Специфика силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций и новые факторы разрушения / В. М. Бондаренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – № 4. – С. 28-33. – EDN KYWGKH.
3. Римшин, В. И. Аналитическая оценка силового сопротивления железобетона, поврежденного коррозионными воздействиями / В. И. Римшин, Ю. О. Кустикова, Д. Н. Котельников // Вестник Мордовского университета. – 2005. – Т. 15, № 1-2. – С. 149-153. – EDN RGWIMS.
4. Моделирование работы железобетонных конструкций с учетом совместного действия механических нагрузок и агрессивных сред / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Е. Л. Кечуткина [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 1(10). – С. 19-24. – DOI 10.51608/26867818_2021_1_19. – EDN QSBQUA
5. Розенталь, Н. К. Хлориды в бетоне и их влияние на развитие коррозии стальной арматуры / Н. К. Розенталь, В. Ф. Степанова, Г. В. Чехний // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 1. – С. 92-96. – EDN XPKCIT.
6. Berrocal C.G., Lundgren K., Lundgren I. Corrosion of steel bars embedded in fibre reinforced concrete under chloride attack: state of the art. Cement and Concrete Research, 2016, vol. 80, pp. 69-85.
7. Сулейманова, Л. А. Развитие процессов коррозии железобетона в условиях хлоридной агрессивной среды / Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства, Белгород, 14 апреля – 14 2022 года. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 131-135. – EDN JDMRYZ.
8. Мигунов, В. Н. Влияние переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки и сильноагрессивной жидкой хлоридсодержащей среды на кривизну непредварительно напряженных изгибаемых железобетонных конструкций / В. Н. Мигунов, К. В. Шамшина // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 2. – С. 1. – DOI 10.15862/01SATS218. – EDN XTGBKX.
9. Смоляго, Г. А. Моделирование величины коррозионных повреждений арматуры железобетонных конструкций в условиях хлоридной агрессивной среды / Г. А. Смоляго, А. В. Дронов, Н. В. Фролов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2017. – № 1(70). – С. 43-49. – DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-43-49. – EDN YLZGCL.
10. Леонович, С. Н. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение / С. Н. Леонович, А. В. Прасол // Строительные материалы. – 2013. – № 5. – С. 94-95. – EDN QBDWFR.
11. Бондаренко, В. М. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях : учебное пособие / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин ; В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. – Москва : Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, 2009. – 87 с. – ISBN 978-5-98523-083-3. – EDN TSRUZZ.
12. Клевцов В.А., Коровин Н.Н. Разработка, исследование, диагностика и усиление железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 1997. № 5. С. 21-22.
13. Меркулов, С. И. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / С. И. Меркулов, А. И. Татаренков, В. Г. Стародубцев // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2017. – № 4(992). – С. 41-43. – EDN VWBDAX.
14. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2004. 144 с. – ISBN 5-274-01909-9.
15. Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами // Жилищное строительство. 2003. № 3. С. 15-16.
16. Римшин, В. И. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом / В. И. Римшин, С. И. Меркулов, С. М. Есипов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2018. – № 2(35). – С. 93-100. – DOI 10.5281/zenodo.1286034. – EDN USTLHE.
17. Георгиев, С. В. Особенности работы под нагрузкой скатых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами / С. В. Георгиев, П. П. Польской, Д. Р. Маилаян. – Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2021. – 114 с. – ISBN 978-5-7890-1945-0. – EDN AIXKZI.
18. Римшин, В. И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом / В. И. Римшин, С. И. Меркулов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20, № 5. – С. 92-100. – DOI 10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100. – EDN YLJLJL.
19. Римшин, В. И. Анализ расчётного метода усиления конструкций системой внешнего армирования / В. И. Римшин, Е. С. Кузина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 3. – С. 70-79. – EDN PQDIXJ.
20. Фролов Н.В. Прочность и деформативность железобетонных изгибаемых элементов при длительных силовых и средовых воздействиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Фролов Николай Викторович. – Белгород, 2019. – 160 с.
21. Шмелев, Г. Д. Прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах : монография / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков ; Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Ростовский гос. строительный ун-т". – Ростов-на-Дону : Ростовский гос. строит. ун-т, 2007. – 218 с. – ISBN 5-9525-0055-2. – EDN QNMSDR.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.



Научная статья

УДК 691.327

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

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

2.1.9. Строительная механика; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_1_35

ПРОЧНОСТЬ И МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА

© Авторы 2023
SPIN: 4845-3197
AuthorID: 131097

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович

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

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

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

SPIN: 7034-9735
AuthorID: 653988

СЕЛЯЕВ Павел Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»

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

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

SPIN: 8617-8526
AuthorID: 1092398

ГРЯЗНОВ Сергей Юрьевич

аспирант кафедры «Строительные конструкции»

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

(Россия, Саранск, e-mail: sergey.gryaznov.97@mail.ru)

АВЕРКИНА Маргарита Юрьевна

студент

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

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

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования структуры бетона, которые позволили: подтвердить гипотезу о фрактальном строении структуры бетона; определить фрактальную размерность; предложить модель фрактального элемента; описать дискретный (квантовый) процесс разрушения структуры; предложить формулы для определения прочности бетона с учетом наличия трещин, масштабной инвариантности.

Ключевые слова: бетон; фрактал; строительная механика; механика разрушения; разрушение; подобие; масштабный эффект; строительная отрасль; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Прочность и механика разрушения фрактальной структуры бетона / В.П. Селяев, П.В. Селяев, С.Ю. Грязнов, М.Ю. Аверкина // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1(20). С. 35-43. doi:10.51608/26867818_2023_1_35.



STRENGTH AND FRACTURE MECHANICS OF THE FRACTAL STRUCTURE OF CONCRETE

© The Author(s) 2023

SELYAEV Vladimir Pavlovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of "Building Structures"
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: 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, e-mail: ntorm80@mail.ru)

GRYAZNOV Sergey Yurievich

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: sergey.gryaznov.97@mail.ru)

AVERKINA Margarita Yurievna

Student
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: margo_averkina@mail.ru)

Annotation. The article presents the results of an experimental study of the concrete structure that allowed to confirm the hypothesis about the fractal structure of the concrete structure, to determine the fractal dimension, to propose a model of a fractal element, to describe a discrete (quantum) process of structure destruction, to propose formulas for determining the strength of concrete considering the presence of cracks, scale invariance.

Keywords: concrete; fractal; fracture mechanics; destruction; similarity; scale effect; construction sphere

For citation: Strength and fracture mechanics of the fractal structure of concrete / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, S.Y. Gryaznov, M.Y. Averkina // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 35-43. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_35.

Введение

Бетон был и остается основным строительным материалом, из которого выполняются самые разнообразные по архитектурным формам и степени ответственности строительные конструкции, здания и сооружения.

По результатам экспериментальных и теоретических исследований, опыта эксплуатации изделий из бетона написано множество статей, монографий, учебников; разработаны нормативные документы; предложены методы расчета, позволяющие обеспечить надежность и долговечность железобетонных конструкций в заданных пределах [1-5].

Особое внимание уделяется разработке теории разрушения бетона, которая формировалась на принципах классических теорий прочности деформируемого твердого тела. Предполагается, что структура бетона однородна и непрерывно распределена по всему объему тела. Это даёт возможность

анализ процесса разрушения конструкций, изделий из бетона производить на основе расчетных методов нелинейной механики деформируемого твердого тела [1; 3-5].

В действительности структура бетона достаточно сложная, многофазная, грубогетерогенная, содержит множество дефектов, трещин. Химический, элементный, минералогический состав бетона весьма разнообразен, и переменчив во времени, на всем протяжении жизненного цикла. Напряжения в структуре бетона распределены также весьма неравномерно [1, 5]. Для анализа структуры бетона нельзя применить классические методы геометрии и математики. Однако Б. Мандельброт, исследуя сложные неоднородные системы, показал, что в хаосе может быть определенный порядок, если он представлен фрактальной системой [6-7]. Если структура бетона отвечает принципам многомасштабности и самоподобия, то она фрактальна и может быть описана методами фрактальной геометрии.

Экспериментально методами фрактального анализа установлено, что при всем многообразии структурных компонентов, форм, неправильностей и фрагментарности в структуре композиционных материалов наблюдается рекурсия – подобие, повторяемость структурных образований по форме и свойствам на разных масштабных уровнях. Объективной оценкой подобия, однородности структуры материала на разных масштабных уровнях является фрактальная размерность [6; 7; 9]. Следовательно, необходимо: провести фрактографический анализ структуры бетона; определить фрактальную размерность; выявить влияние дефектов структуры на процесс разрушения.

В структуре бетона содержится множество пор, пустот, трещин, которые в предлагаемых моделях разрушения бетона не учитываются. В настоящее время благодаря работам Гриффитса, Ирвина, Орвана, Баренблатта появилась возможность учесть влияние дефектов структуры на процессе разрушения бетона [10-14]. Современные теории прочности, разрушения бетона должны формироваться с учетом дефектов структуры.

1. Современные модели и критерии разрушения бетона

При создании теории принято рассматривать разрушение как мгновенный акт, происходящий путем отрыва одной части изделия от другой.

Гипотеза о разрушении бетона путем отрыва одной частицы от другой вполне приемлема при растяжении, но не отвечает действительности при сжатии.

Предположим, что разрушение сжимаемого бетона происходит вследствие разрыва бетона в поперечном направлении. Рассмотрим простую расчетную схему разрушения бетонного элемента путем реализации отрывного механизма (см. рис. 1а).

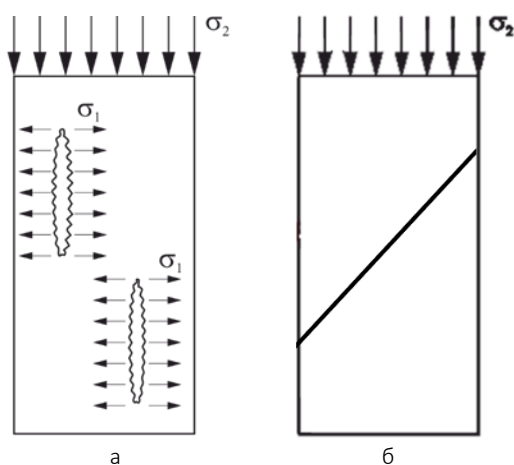


Рис. 1. Механизм разрушение бетона:
а - отрывом; б - срезом

Очевидно, зависимость между относительными деформациями ϵ_x и напряжениями σ_y можно описать обобщенным законом Гука, из которого следует, что $R_{bt} = \mu \cdot R_b$, где R_{bt} – прочность бетона при растяжении, R_b – при сжатии, μ – коэффициент Пуассона. Следовательно, $\mu = \frac{R_{bt}}{R_b}$.

Однако из анализа экспериментальных и нормативных данных, представленных в таблице 1, это соотношение не выполняется и коэффициент Пуассона имеет значения выше тех, которые получаются делением R_{bt} на R_b .

Таблица 1. Показатели сопротивления разрушенного бетона

Свойства \ Группа	I (B35)	II (B50)	III (B90)	IV (B100)
Прочность бетона при сжатии, R_b , МПа	35 (25,5)	50 (36)	90 (69)	125 (71)
Прочность бетона при растяжении, R_{bt} , МПа	4,8 (1,95)	6,0 (2,46)	9,5 (3,6)	11 (3,80)
Коэффициент Пуассона	0,2	0,19	0,17	0,15
$\frac{R_{bt}}{R_b}$	0,14 (0,076)	0,12 (0,068)	0,11 (0,056)	0,09 (0,053)

В таблице 1 использованы экспериментальные данные Д.Е. Коротких [15-16], в скобках приведены данные по СП63.13330.2012.

Если предположить, что разрушение сжимаемого образца бетона происходит вследствие среза по наклонному сечению, то из анализа расчетной схемы (см. рис. 1б) следует, что разрушение произойдет при условии $\tau = 0,5\sigma$ (в предельном случае $R_b = 2R_{bt}$, где R_{bt} – прочность на срез). Экспериментальные данные не подтверждают этот вывод. Зависимость прочности на срез (R_{cp}), от прочности на сжатие (R_{np}) и растяжение (R_p) принято описывать функциями вида $R_{cp} = 0,7\sqrt{R_{np} \cdot R_p}$ или $R_{cp} = 2R_p$.

Модель отрывного механизма разрушения бетона используется при расчете ЖБК по наклонным сечениям.

Поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны, предлагается определять по эмпирической формуле М.С. Боришанского, которая в нашем случае получена [7] из анализа расчетной схемы реализации отрывного механизма разрушения бетона по наклонному сечению (см. рис. 2) и имеет вид

$$Q_b = \left(1 + \frac{c^2}{h_0^2}\right) \frac{R_{bt} b h_0^2}{c}, \quad (1)$$

Обозначения в формуле 1 приняты по СНиП 2.03.01-04*. Критический анализ функции Q_b , изложенный в работе [7], показывает, что отрывная модель разрушения соответствует экспериментальным

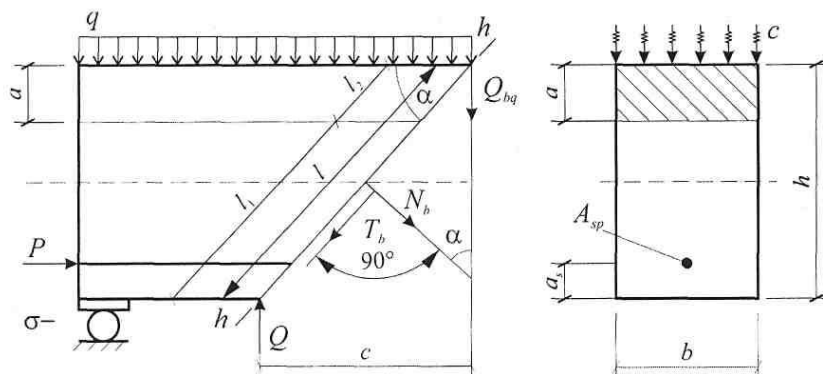


Рис. 2. Расчетная схема разрушения по наклонным сечениям

данным лишь в определенном диапазоне $0,5h < c < 1,5h$. При $c = 0$ имеем $Q_b = \infty$.

Исходя из анализа рассматриваемых моделей логично предположить, что разрушение структуры бетона сложный процесс, на развитие которого оказывают влияние как нормальные, так и касательные напряжения. Поэтому можно предположить, что наиболее адекватно разрушение бетона можно описать на основании модели Кулона-Навье, которую можно аналитически представить в виде условия:

$$\tau \leq R_{bt} + \gamma\sigma \quad (2)$$

где R_{bt} – прочность бетона на сдвиг; γ – коэффициент трения.

Рассматривая расчетную схему разрушения бетона (см. рис. 1б), получаем:

$$R_b = \frac{2R_{bt}}{1 - \gamma} \quad (3)$$

Экспериментально установлено, что зависимость величины коэффициента трения от прочности можно аппроксимировать функцией вида: $\gamma = 0,4 + 0,005B$, где B – класс бетона по прочности на сжатие. При изменении класса бетона по прочности на сжатие от В35 до В100 соотношение R_{bt}/R_b будет изменяться от 0,14 до 0,025, что почти соответствует экспериментальным данным. К тому же в расчетной модели не учитывается наличие дефектов, трещин в структуре бетона.

Экспериментальные исследования показывают, что гипотезы о сплошности, однородности структуры, о реализации отрывного механизма разрушения бетона не соответствуют действительности.

Поэтому при формировании теории разрушения бетона и изделий на его основе необходимо обосновать и учитывать следующие факторы:

- бетон имеет неоднородную, грубогетерогенную структуру, которая отвечает требованиям многомасштабности, самоподобия и может быть представлена в виде системы, состоящей из отдельных фракталов;

- в структуре бетона имеются дефекты в виде трещин, пор, разнообразных включений, влияние которых на работу изделий можно описать методами механики разрушения твердых тел;

- процесс разрушения структуры бетона является многомасштабным, многоуровневым и может быть представлен в виде квантово-механической модели разрушения.

Предлагаем для описания процесса разрушения бетона разработать квантово-механическую модель разрушения бетона, основанную на предположениях: о дискретном (квантовом) характере выделения и поглощения энергии в процессе разрушения; о представлении структуры бетона в виде сложной иерархически организованной, масштабно-инвариантной фрактальной системы, которая на каждом масштабном уровне подобна целому и может быть представлена двумя обобщенными компонентами – матрицей и включением (дефектом).

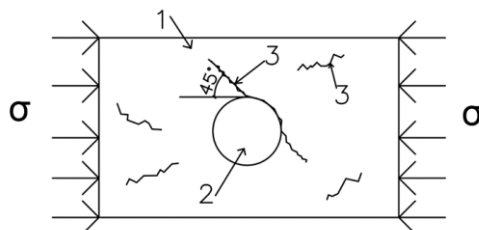


Рис. 3. Модель фрактала. 1 - матрица; 2 - включение; 3 - технологические трещины

Для развития квантово-механической модели прочности и разрушения бетона необходимо: выделить основные структурные элементы конечного размера, состоящие из матрицы, зерна заполнителя, дефекта (трещины); обосновать модель разрушения структурного элемента; подтвердить экспериментально многомасштабность и самоподобие структурных элементов различного уровня; предложить критерии разрушения структурного элемента.

2. Экспериментальное обоснование фрактальности строения структуры бетона

По мнению специалистов, практически все физические объекты и происходящие в них процессы фрагментарны, изломаны, изрезаны [6-7; 9].

Для описания подобных объектов Б. Мандельброт обосновал принципы фрактальной геометрии.



рии, в которой пространство не целноразмерное, а дробное и, в отличие от Евклидовой геометрии, для описания этого пространства требуется бесконечное число масштабов.

Однако, на любом масштабном уровне структура имеет одну и ту же размерность, которая является дробной величиной.

Фрактальная геометрия Б. Мандельброта основана на двух аксиомах: многомасштабности, самоподобия.

Под многомасштабностью (по Ричардсону) понимается зависимость измеряемой характеристики N объекта от разрешающего масштаба α 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:

$$N = c (\alpha)^{d-D} \quad (4)$$

где N – измеряемая характеристика; α – 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 [6,9]:

$$\beta N = c (\beta \alpha)^{d-D} \quad (5)$$

где β – 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 [6-7].

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 [17].

Зависимость фрактальной размерности структуры цементного камня от степени наполнения, со-

отношения цемент/песок исследована Л.И. Куприяшкиной [18]. Получена корреляционная степенная зависимость между прочностью и фрактальной размерностью D . Повышение D соответствует уменьшению прочности [17-18].

Проведенные исследования Т.А. Низиной и М.Ф. Алимовым также подтверждают, что фрактальная размерность является объективной характеристикой степени однородности структуры бетона, значения которой не зависят от масштабного уровня исследуемой структуры [7].

3. Модель фрактала структуры бетона. Основные структурные элементы

Фрактографический анализ подтверждает многомасштабность и самоподобие строения структуры бетона, как объективное проявление свойств материала, количественной оценкой которых является фрактальная размерность.

Предлагается при исследовании и описании структуры бетона выделять несколько (о двух до семи) масштабных уровней, которые можно коррелировать с размерами основных структурных элементов [7; 15-17; 19].

Основными структурообразующими элементами бетона являются: зерна крупного заполнителя (щебень, гравий, гранулы); зерна мелкого заполнителя (песок, дисперсные волокна); зерна наполнителя (минеральные мелкодисперсные порошки); раковины, поры, технологические трещины. Цементный камень, зерна заполнителя также имеют многомасштабную самоподобную структуру.

В практических целях при анализе структуры бетона достаточно выделить четыре масштабных уровня – санти-, милли-, микро- и нанометровый. Основные геометрические характеристики масштабных уровней структуры бетона приведены в таблице 2.

При формировании модели фрактала будем представлять структуру бетона в виде инвариантной системы, построенной по принципу «Структура в структуре» и состоящей на каждом масштабном уровне структуры из матрицы и соответствующего включения (см. рис. 3).

Например, структуру бетона: на сантиметровом уровне можно представить в виде квазиоднородной матрицы (пескобетон) и включения (зерно-заполнителя); на миллиметровом уровне матрица – это цементная мастика, а включение – зерно песка; на микрометровом уровне матрица это наполненный цементный камень, а включение – частица тонкодисперсного наполнителя или сопоставимая по размеру пора; на наноуровне матрицей является гидратированный цементный гель, а включение – частицы цемента, кластеры, поры.

Модель фрактала (см. рис. 3) на каждом масштабном уровне будем представлять в виде призмы



Таблица 2. Содержание и свойства включений в структуре бетона

№ i	Наименование включений	Размер d_i , м	γ_i , кг/м ³	m_i , кг/м ³	q_i , м ³ /м ³	δ_i , м
1 сантиметры	Крупный заполнитель (щебень)	$5 \cdot 10^{-2}$	2600	1000	0,39	$0,9 \cdot 10^{-2}$
2 миллиметры	Мелкий заполнитель (песок)	$5 \cdot 10^{-3}$	2000	950	0,47	$0,5 \cdot 10^{-3}$
3 микрон	Дисперсный заполнитель + цемент	$5 \cdot 10^{-6}$	1800	50+500	0,30	$1,35 \cdot 10^{-6}$
4 нанометры	Поры, наночастицы геля	$5 \cdot 10^{-9}$				

или пластины с размером сторон $a_i = d_i + \delta_i$, в центре которой находится заполнитель или иное включение в виде идеального диска диаметром. Расстояние между дисками δ_i для статистически плотной дисперсной среды можно оценить по формуле

$$\delta_i = d_i \left(0,86 \sqrt[3]{\frac{1}{q_i}} - 1 \right) \quad (6)$$

где i – масштабный уровень, q_i – относительное объемное содержание включений.

Модель фрактала структуры бетона дает возможность математически описать процесс разрушения иерархически-организованных систем.

4. Анализ механизма разрушения бетона с учетом инвариантной многомасштабности строения структуры

Предполагается, что процесс разрушения твердого тела происходит в том случае, когда напряжения средние по объему (площади поперечного сечения) достигают уровня предела прочности. Однако в материалах с неоднородной структурой процесс разрушения дискретен, что связано с неоднородностью строения структуры и свойств материалов, входящих в состав композита.

Максимальные значения напряжений образуются как правило в матрице на границе с включе-

нием. Под влиянием концентрации напряжений (см. рис. 4) формируется область пластического деформирования, размеры которой r_{ni} \propto d_i . Брок предложено определять по формуле вида:

$$r_i = \frac{K_1^2}{2ER_{bt}} \quad (7)$$

где K_1 – коэффициент интенсивности напряжений при растяжении; R_{bt} – предел пропорциональности бетона при растяжении; E – модуль упругости.

Тогда, записав условие разрушения структуры бетона в виде неравенства (8), можно судить об иерархической последовательности разрушения структурных элементов.

$$\delta_1 \leq 2r_{n1} \quad (8)$$

Очевидно, что чем ближе расположены включения, тем выше вероятность образования трещин в этой области.

Для анализа влияния структурных параметров бетона на образование трещин, локальное разрушение структуры использовали экспериментальные данные, приведенные в работах В.А. Перфилова [19].

Применяя экспериментальные значения K_{1c} , R_{bt} по формуле (7) определены размеры области пластического деформирования для трех масштабных уровней структуры бетона. Как следует из полу-

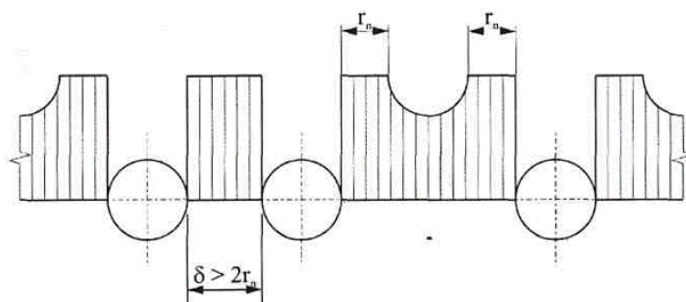


Рис. 4. Взаимодействие фракталов

Таблица 3. Показатели трещиностойкости цементных композитов

№ п/п	Вид композита	R_{bt} , МН/м ²	K_{1c} , МН/м ^{3/2}	E , МН/м ³	r_i , м	δ , м
1	Цементный камень	4,95	0,5	20 000	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \cdot 10^{-6}$
2	Раствор	3,5	1,1	28 000	$0,006 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
3	Бетон	3,7	1,78	36 000	$0,0012 \cdot 10^{-2}$	$0,9 \cdot 10^{-2}$

ченных результатов, приведенных в таблице 3, в соответствие с условием трещинообразования (8) разрушение структуры бетона начинается с цементного камня и затем процесс распространяется на другие масштабные уровни.

Дискретный, многоуровневый характер разрушения структуры бетона подтверждается диаграммой деформирования, полученной при испытании образцов-кубиков из бетона на испытательном комплексе Wille Geotechnik (модель 13-PD/104). Испытания проводились при скорости нагружения 0,5 мм/мин и записи показаний измерения деформаций через каждые 0,1 сек. (см. рис. 5).

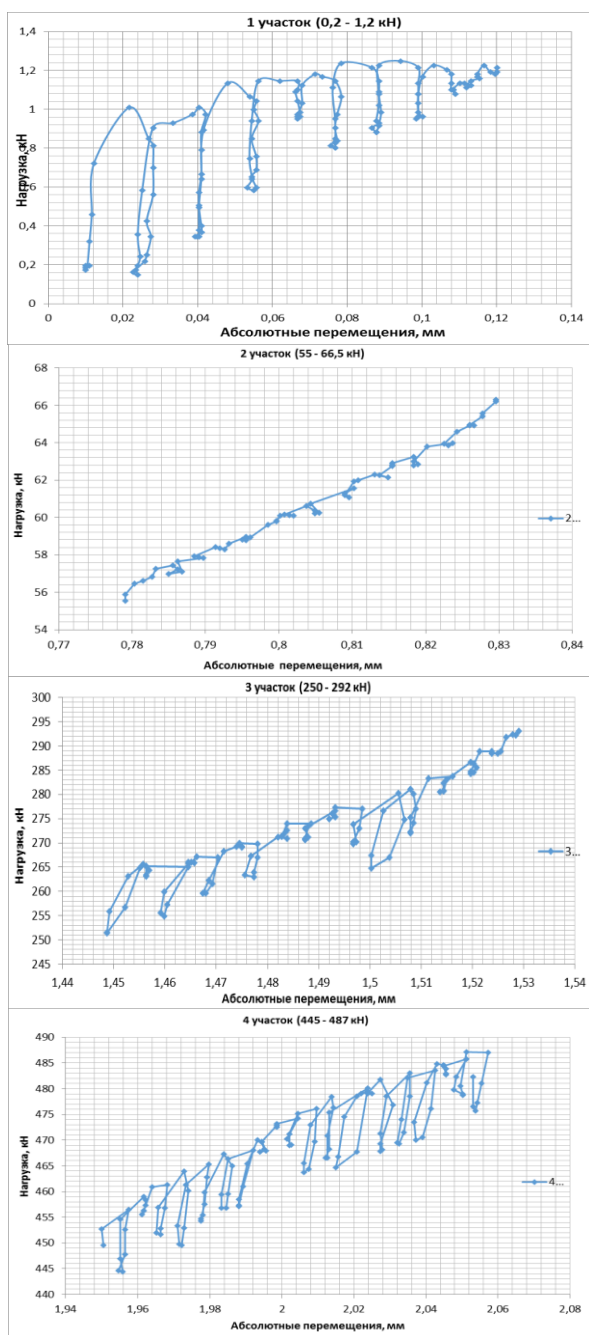


Рис. 5. Диаграммы деформирования на участках 1, 2, 3, 4, 5, 6 (начало)

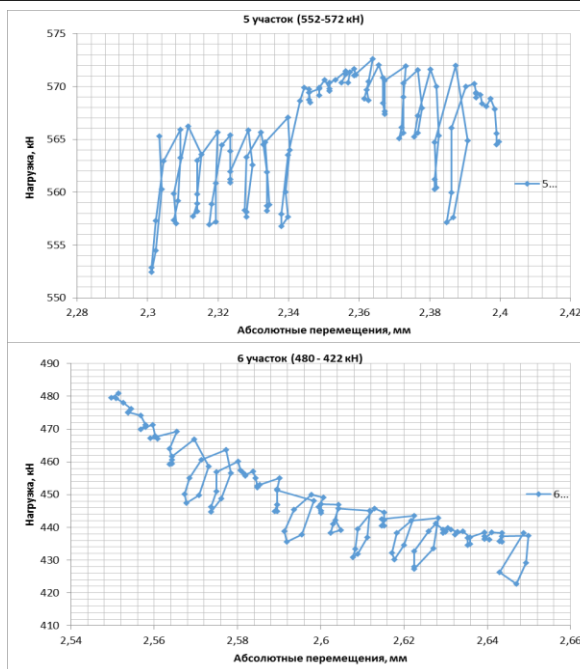


Рис. 5. Диаграммы деформирования на участках 1, 2, 3, 4, 5, 6 (окончание)

Учитывая, что в структуре бетона имеются технологические трещины и возможно образование трещин между зернами заполнителя, то при моделировании процесса разрушения вполне логично применение методов механики разрушения, основы которой разработаны А. Гриффитсом. Модель А. Гриффитса сформирована в представлениях Евклидовой геометрии [7]. Так как бетон имеет фрактальную структуру, то в представлениях геометрии Б. Мандельброта истинный размер площади поверхности разрушения будем аппроксимировать функцией вида:

$$S(\alpha) = S_e \alpha^{d_e - d_m} \quad (9)$$

где S_e – площадь поверхности разрушения по Евклиду, α – масштабный уровень измерения; d_e – топологическая размерность; d_m – фрактальная размерность по Мандельброту.

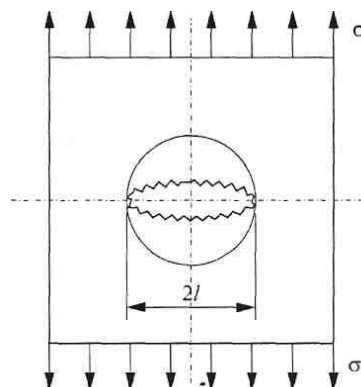


Рис. 6. Фрактальная модель Гриффитса



С учетом фрактальности строения структуры бетона (см. рис. 4), запишем уравнение баланса энергии высвобождаемой (U) и накапливаемой (V).

$$W = S_0 \gamma \alpha^{d_e - d_m} - 0,5 \sigma \epsilon A \quad (10)$$

где $S_0 = 4l$; $A = \pi l^2$; γ – поверхностная энергия.

Из решения уравнения (10) определим критическую длину l_0 трещины и критическое напряжение $\sigma_0 = R_{bt}$:

$$l_0 = \frac{4\gamma E}{\pi \sigma^2} \alpha^{d_e - d_m} \quad (11)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{4\gamma E}{\pi l} \alpha^{d_e - d_m}} \quad (12)$$

По Г. Баренблатту $\gamma = K_{1c}^2 / 2E$.

С учетом фрактальной модели Гриффитса и модели Кулона-Навье получим выражение для определения прочности бетона при сжатии в виде функции:

$$R_b = \frac{4K_2}{(1-\gamma)\sqrt{0,5\pi l_0}} \alpha^{0,5(1-d_m)} \quad (13)$$

где K_2 – коэффициент интенсивности напряжений при сдвиге.

При растяжении через коэффициент интенсивности напряжений для определения прочности имеем:

$$R_{bt} = \frac{K_1}{\sqrt{0,5\pi l_0}} \alpha^{0,5(1-d_m)} \quad (14)$$

Полученные формулы (13) и (14) дают возможность оценить изменение: прочности от масштабного уровня α ; соотношения R_b / R_{bt} от класса бетона по прочности на сжатие.

На рисунке 7 приведены графики изменений прочности бетона от масштабного уровня (размеров ребра куба) по формуле (13) и по формуле В.В. Болотина.

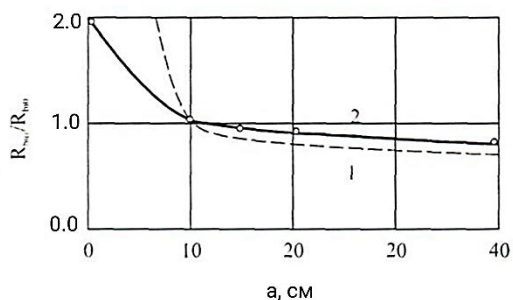


Рис. 7. Зависимость прочности от размера куба: по формуле В.В. Болотина – 1; по формуле (13) – 2

Формулы (13) и (14) дают возможность определить коэффициент интенсивности напряжений при сдвиге K_2 , если известны значения K_1 и соотношение R_b / R_{bt} .

Графический анализ соотношения R_b / R_{bt} показал, что хорошее совпадение экспериментальных

данных получено при соотношении $K_2 / K_1 = 1,3$ в диапазоне изменения класса бетона от В10 до В100.

Выводы

1. Экспериментально обосновано предположение о фрактальном строении структуры цементного бетона.
2. Предложена модель фрактала структуры бетона, который обладает свойствами инвариантности. Предложено основной фрактальный элемент представлять в виде матрицы, включения и трещин технологических и силовых.
3. Рассмотрен механизм разрушения бетона с учетом инвариантной многомасштабности строения структуры. Экспериментально подтвержден дискретный (квантовый) процесс разрушения структуры бетона.
4. Предложены формулы для определения прочности бетона с учетом: наличия дефектов (трещин); фрактальной размерности; масштабного уровня структуры.

Библиографический список

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. - М. Стройиздат, 1996. - 416 с.
2. Ахвердов И.Н. Теоретические основы бетоноведения. - Минск. Вышэйш. школа, 1991. - 188 с.
3. Новое о прочности бетона / А.А. Гводев, С.А. Дмитриев, С.М. Крылов [и др.]; под ред. К.В. Михайлова. - М: Стройиздат, 1977. - 272 с.
4. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писаренко Г.Н. Высокопрочный бетон. - М. Стройиздат, 1971. - 208 с.
5. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: Монография. - М.: Издательство АСВ, 2004. - 412 с.
6. Мендельброт Б. Фрактальная геометрия природы. - М.: Институт компьютерных исследований, 2002. - 656 с.
7. 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.
8. Садовский М.А. О свойстве дискретности горных пород // Физика земли. 1982. N12. С. 3-18.
9. Остапчук А.К., Овсянников В.Е. Применение теории фракталов в математическом моделировании и технике: учебное пособие - Курган : Курганский гос. ун-т, 2009. - 76 с.
10. Остапчук А.К., Овсянников В.Е. Применение теории фракталов в математическом моделировании и технике: учебное пособие - Курган : Курганский гос. ун-т, 2009. - 76 с.
11. Физика разрушения: рост трещин в твердых телах / В.М. Финкель. - М.: Металлургия, 1970. - 376 с.
12. Механика упруго - пластического разрушения / В.В. Партон, Е.М. Морозов. - М.: Изд-во Наука, 1974. - 416 с.



13. Жесткость и прочность стальных деталей / Я.М. Немец – М.: Изд-во Машиностроение, 1970. - 528 с.

14. Гузеев Е.А., Леонович С.Н., Пирадов К.А. Механика разрушения бетона: Вопросы теории и практики. - Брест БПИ, 1999. - 217 с.

15. 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.

16. Коротких, Д. Н. Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии) / Д. Н. Коротких. – Воронеж : Воронежский гос-

ударственный архитектурно-строительный университет, 2014. – 141 с. – ISBN 978-5-89040-485-5. – EDN ZVTKBD.

17. 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.

18. Куприяшкина Л.И. Наполненные цементные композиции. – Саранск, Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 180 с.

19. Перфилов, В. А. Акустический метод количественной оценки вязкости разрушения бетонов / В. А. Перфилов // Строительство - 2000, Ростов-на-Дону, 10 марта 2000 года. – Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО Ростовский государственный строительный университет, 2000. – С. 111-112. – EDN WLIKNZ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.

Научная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_44

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛА¹

© Авторы 2023

SPIN: 4261-5338

AuthorID: 5056

БОГАТОВ Андрей Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

SPIN: 2950-8645

AuthorID: 582427

БОГАТОВА Светлана Николаевна

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

ЯМБУШЕВ Равиль Зифритович

магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

АКСЕНОВ Даниил Сергеевич

магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

СВИТОВА Галина Петровна

магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

Аннотация. В настоящее время проблеме утилизации побочных продуктов промышленных производств в нашей стране не уделяется достаточного внимания. Ежегодно предприятия сбрасывают в отвалы сотни тонн отходов, загрязняющих окружающую среду и негативно влияющих на экологическую обстановку. Учитывая тот факт, что отношение к этому процессу не имеет тенденции к изменению в лучшую сторону, можно предположить, что данная проблема со временем будет приобретать все большую актуальность. Поэтому уже сейчас необходимо обратить на это пристальное внимание и постараться привлечь к решению столь важной задачи максимальное количество отраслей народного хозяйства. Одним из основных препятствий на пути к решению вышеобозначенной проблемы является отсутствие достаточного количества реальных проектов, заключающихся в разработке технологических решений, позволяющих обеспечить повторное использование промышленных отходов при получении продукции различного назначения. Задачей исследования стала разработка эффективных технологий, позволяющих использовать бой стекла не только в виде заполнителя, но и в качестве основного компонента связующего. В работе приводятся результаты исследования подобных композитов.

¹ Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Ключевые слова: отходы стекла; строительные материалы, строительное материаловедение; стеклобой; утилизация боя стекла; строительные композиты

Для цитирования: Строительные материалы на основе отходов стекла / А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, Р.З. Ямбушев, Д.С. Аксенов, Г.П. Свитова // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 44-50. doi:10.51608/26867818_2023_1_44.

Original article

BUILDING MATERIALS BASED ON GLASS WASTE

© The Author(s) 2023

BOGATOV Andrey Dmitrievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

BOGATOVA Svetlana Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

YAMBUSHEV Ravil Zifritovich

Graduate Student

*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

AKSENOV Daniil Sergeevich

Graduate Student

*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

SVITOVA Galina Petrovna

Graduate Student

*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

Annotation. Currently, the problem of recycling by-products of industrial production in our country is not paid enough attention. Every year, enterprises dump hundreds of tons of wastes that pollute the environment and affect the ecological situation. Considering the fact that there is no trend towards improvement in this process, it can be assumed that the problem will become increasingly relevant over time. Therefore, it is necessary to pay close attention to this now and to try to attract to the solution of such an important issue the maximum number of the economy sectors.

One of the main obstacles to solving the above problem is the lack of a sufficient number of real projects that involve the development of technological solutions to ensure the reuse of industrial waste in the production of products for various purposes.

The task of the study was the development of effective technologies that allow the use of the glass scrap not only as a filler but also as the main component of the binder. The paper presents the results of a study of such composites.

Keywords: glass waste; building materials, building materials science; cullet; glass scrap recycling; building composites

For citation: Building materials based on glass waste / A.D. Bogatov, S.N. Bogatova, R.Z. Yambushev, D.S. Aksenov, G.P. Svitova // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 44-50. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_44.

О возможности утилизации отходов стекла за счет индустрии строительных материалов ученые вели разговоры еще с 70-х годов, однако практические исследования в этой области не проводились. В настоящее время целый ряд отечественных и зарубежных вузов и НИИ заняты разработкой строитель-

ных композитов с его использованием. Например, специалисты инженерного факультета и прикладных наук Колумбийского университета (штат Нью-Йорк) работают над проблемой замены каменного заполнителя в бетоне боем стекла. Решением подобных задач занимаются и отечественные ученые. Опреде-



ленные успехи достигнуты усилиями специалистов Мордовского государственного университета [1, 4].

Основной задачей наших исследований являлась разработка эффективных технологий, позволяющих использовать бой стекла не только в виде заполнителя, но и в качестве основного компонента связующего. Подобные работы проводились и проводятся профессорами А. П. Меркиным, Ю. П. Горловым и их учениками. Ими были разработаны составы бесцементных связующих на основе природных и искусственных стекол, способные отверждаться в условиях гидротермальной обработки [2-3]. Учитывая высокую энергоемкость, а соответственно и стоимость подобных технологических операций, наиболее перспективным способом утилизации боя стекла за счет индустрии строительных материалов представляется получение связующего и бетонов на его основе, твердеющих при температуре изотермического цикла, не превышающей 90°C. В настоящей работе приводятся результаты исследования подобных композитов.

Чтобы целенаправленно экспериментальные исследования на первом этапе были проведены изыскания в области твердения вяжущих систем. Теоретическими предпосылками создания вяжущих послужило то, что бой стекла по химическому составу приближается к осадочным и метаморфическим породам типа натролита, морденита и т. д., образование которых в природе происходит в результате низкотемпературных гидротермальных реакций. Многочисленными исследователями (в первую очередь Ю. П. Горловым и А. П. Меркиным, их учениками, было установлено, что подобные соединения могут синтезироваться при затворении природных или искусственных стекол водными растворами щелочей). Твердение данных систем основывается на реакции взаимодействия между кремнеземом и водными растворами соединений щелочных металлов. Однако этот процесс протекает при повышенных температурах и давлениях. Нами установлено, что образование соединений подобных вышеназванным может осуществляться без применения автоклавной обработки. Это достигается в том случае, если в систему дополнительно включать корректирующие добавки. Было выявлено, что в качестве таких добавок пригодны местные глины, а также отходы производств заводов строительной индустрии, специализирующихся на выпуске керамических материалов и изделий (порошкообразные фракции керамзита, керамического кирпича и т. д.).

Механизм твердения связующего на основе боя стекла представляется следующим образом. Первоначально под воздействием щелочи и повышенной температуры с поверхности частиц стекла растворяется тонкодисперсный аморфный кремнезем, в результате чего повышается его концентрация в растворе, конденсируется пар, что приводит к пониже-

нию pH среды и вызывает реакцию поликонденсации с образованием геля поликремниевой кислоты, который склеивает не полностью растворившиеся частицы стекла и зерна заполнителя. Дальнейшее воздействие температуры в процессе термовлажностной обработки приводит к кристаллизации геля кислоты с образованием труднорастворимых гидроалюмосиликатных соединений.

С целью экспериментального подтверждения данного теоретического предположения нами были проведены исследования процессов структурообразования композитов на уровнях микро- и макро-структуры с использованием метода рентгеноструктурного анализа.

Результаты исследования сырьевых материалов показали, что на дифрактограмме боя стекла в интервале углов 2θ 8-40° наблюдается аморфное гало, характерное для неупорядоченных структур, обладающих лишь ближним порядком в расположении частиц. Кроме стеклофазы в образце присутствует небольшое количество кристаллических фаз, о чем свидетельствует неполный набор дифракционных рефлексов слабой интенсивности ($d = 0,424; 0,334; 0,228$ нм), соответствующий кристаллической фазе SiO_2 в форме кварца и полевого шпата ($d = 0,322$ нм).

На рентгенограмме, отражающей фазовый состав минеральной добавки, входящей в состав связующего, наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам кварца ($d = 0,424; 0,228$ нм), полевого шпата ($d = 0,652; 0,424; 0,356; 0,346; 0,326; 0,322; 0,299$ нм) и монтмориллонита ($d = 0,242; 0,168; 0,150$ нм). На дифрактограммах отвержденных образцов связующего фиксируются линии кристаллических новообразований с d , равным $0,707; 0,404; 0,318; 0,268$ нм, соответствующие цеолиту $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30}\times 9\text{H}_2\text{O}$ и щелочным алюмосиликатам типа альбита – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ($d = 0,374; 0,321; 0,292$ нм), а также ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам SiO_2 в форме низкотемпературных модификаций кварца ($d = 0,424; 0,334; 0,228$ нм).

Как известно, физико-механические свойства бетона во многом определяются структурой контакта между матричным материалом и заполнителем. Под влиянием процессов, протекающих на границе контакта связующего с поверхностью заполняющей части, происходит формирование структуры окаймляющих и омоноличивающих слоев вокруг зернистого заполнителя. Характер и полнота этих процессов зависят от многих факторов: природы минерального вяжущего и наполнителя, дисперсности наполнителя, кристаллохимических свойств и структуры минералов, содержания жидкой среды в смеси, присутствия в системе поверхностно активных и других добавок, температуры отверждения, степени уплотнения и т. д.



Фазовый состав новообразований в зоне контакта стеклощелочного связующего с заполнителями в настоящее время малоизучен. Отличительной особенностью подобных систем является повышенный уровень водородного показателя матричной составляющей. Едкие щелочи, участвующие в процессе гидратации вяжущего, активно взаимодействуют с минералами глины и другими силикатными веществами, что позволяет использовать в качестве заполнителей широкий спектр естественных и искусственных заполнителей, включая отходы производств.

В наших исследованиях в качестве заполнителей рассматривались гранитный и известняковый щебень, керамзитовый гравий, бой глиняного кирпича и стекла ламп накаливания. Учитывая тот факт, что в начальный период гидратации и структурообразования влияние заполнителя на состав образующихся фаз контакта незначительное, исследования проводились после шести месяцев выдерживания бетонов на основе стеклощелочного связующего при нормальных условиях. В ходе эксперимента установлено, что на рентгенограмме, отражающей фазовый состав зоны контакта гранитного щебня со связующим наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам гидросиликата кальция C_2SH_2 ($d = 0,303$ нм) и щелочного алюмосиликата типа анальцима $NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$ ($d = 0,343; 0,174$ нм). При использовании в качестве заполнителя керамзитового гравия и боя глиняного кирпича в зоне контакта присутствуют новообразования дисиликата натрия $Na_2Si_2O_5$ ($d = 0,263$ нм); цеолитового соединения $Na_2A_{12} \times SiO_4 \times 6H_2O$ ($d = 0,300; 0,271; 0,245$ нм), гидрата нефелина ($d = 0,274; 0,224; 0,191; 0,187$ нм). Зона контакта связующего со стеклянным заполнителем представлена закристаллизованным силикатом натрия Na_2SiO_3 ($d = 0,530; 0,355; 0,304$ нм), гидросиликатом кальция тоберморитовой группы C_2SH_2 ($d = 0,303$ нм) и анальцимом. Новообразования в зоне контакта известнякового заполнителя и вяжущего представлены карбосиликатом кальция $Ca_5Si_2O_7(CO_3)_2$ ($d = 0,307; 0,301; 0,297; 0,280; 0,210$ нм), карбонатом кальция в форме кальцита ($d = 0,303; 0,250; 0,228; 0,208$ нм), гидросиликатом кальция тоберморитовой группы и гидроалюмосиликатным соединением типа анальцима.

Таким образом, с учетом полученных результатов можно сделать вывод, что на поздней стадии твердения композиционных материалов на основе стеклощелочного связующего заполнители способствуют образованию весьма плотной и однородной структуры контактной зоны из соединений сложного щелочного и щелочно-щелочноземельного гидроалюмосиликатного состава.

В последнее время все большее внимание уделяется исследованию эксплуатационной надеж-

ности строительных материалов и в частности их устойчивости в условиях воздействия биологически активных сред. К подобным средам относятся бактерии, грибы, актиномицеты.

Как показывает статистика, из различных видов микроорганизмов наибольшее повреждающее воздействие на промышленные, и строительные материалы оказывают мицелиальные грибы [5-6]. Их высокая деструктивная активность обусловлена способностью адаптироваться к материалам различной химической природы, что связано, прежде всего, с наличием у них хорошо развитого, мощного и мобильного ферментного комплекса. Метаболические особенности грибов, вызывающих повреждения, заключаются в том, что они обладают системами высокоактивных окислительных, гликолитических и других более или менее специфических ферментов, осуществляющих разнообразные химические превращения сложных субстратов. Расщепление таких субстратов может происходить путем окисления, гидроксидирования, разрыва кольца и двойных связей в циклических соединениях, трансформации молекул и соединений, биохимического синтеза и другими путями.

Нами проведены исследования стойкости композитов на основе различных видов вяжущих в условиях воздействия мицелиальных грибов. Испытания материалов проводились в соответствии с ГОСТ 9.049 - 91 по двум методам: 1 (без дополнительных источников питания) и 3 (с применением твердой питательной среды Чапека-Докса).

В табл. 1 приведены результаты исследований, показывающие кинетику изменения биологической стойкости композитов на основе различных видов вяжущих после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение трех и двенадцати месяцев, а также количественные показатели их биостойкости после длительного срока выдерживания в условиях испытаний при наличии постоянной действующей питательной среды во время испытаний.

Результаты, приведенные в табл. 1 свидетельствуют о том, что после набора марочной прочности только образцы стеклощелочного вяжущего обладают фунгицидными свойствами. Высокая биостойкость вяжущего на основе боя стекла объясняется повышенным уровнем основности системы. Старение материалов уменьшает их биостойкость, так, например, у образцов стеклощелочного вяжущего радиус зоны ингибирования роста грибов снижается, а отвержденная эпоксидная смола становится негрибостойкой. Выдерживание материалов в условиях воздействия биосреды при наличии питательной среды для мицелиальных грибов способствует росту биообрастания материалов.

С целью выявления потенциальных биодеструкторов вяжущих после выдерживания в воз-



Таблица 1. Результаты исследования биостойкости вяжущих

Наименование материала	Метод 1	Метод 3	Результат
<i>после набора марочной прочности</i>			
Стеклощелочное вяжущее	0	0 (R* = 45 мм)	фунгициден
Портландцементный камень	0	3	грибостоек
Гипсовый камень	4	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	2	5	грибостоек
<i>после выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>			
Стеклощелочное вяжущее	0	0 (R=15 мм)	фунгициден
Портландцементный камень	0	3	грибостоек
Гипсовый камень	4	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	2	5	грибостоек
<i>после выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>			
Стеклощелочное вяжущее	0	2	грибостоек
Портландцементный камень	0	4	грибостоек
Гипсовый камень	4	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	4	5	негрибостоек
<i>после выдерживания в течение 3 месяцев в питательной среде Чапека–Докса</i>			
Стеклощелочное вяжущее	–	1	фунгициден
Портландцементный камень	–	5	нефунгициден
Гипсовый камень	–	5	нефунгициден
Отвержденная эпоксидная смола	–	5	нефунгициден

*R – радиус зоны ингибирования роста грибов

Таблица 2. Видовой состав колоний грибов, заселяющих вяжущие

Наименование материала	Виды грибов	Общее количество видов грибов / количество родов
<i>после выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>		
Стеклощелочное вяжущее	Грибов нет	0
Портландцементный камень	<i>Aspergillus ustus</i>	1/1
Гипсовый камень	<i>Aspergillus ustus, Penicillium nigricans, Mucor corticola, Chaetomium globosum, Verticillium nigrescens</i>	5/5
Отвержденная эпоксидная смола	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium nigricans, Mucor corticola</i>	4/3
<i>после выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>		
Стеклощелочное вяжущее	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium notatum, Penicillium claviforme, Penicillium cyclopium, Penicillium ochrochloron, Penicillium nigricans, Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum</i>	9/4
Портландцементный камень	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Alternaria brassicae, Cladosporium elatum</i>	4/3
Гипсовый камень	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus clavatus, Aspergillus oryzae, Penicillium notatum, Cladosporium elatum, Fusarium sambucinum, Chaetomium dolichotrichum, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Alternaria brassicae</i>	12/7
Отвержденная эпоксидная смола	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus ruber, Penicillium notatum, Alternaria brassicae, Alternaria pluriseptata, Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum</i>	9/5

душно-сухих условиях были проведены исследования по определению видового состава микроорганизмов, заселяющих их. Задачей исследований являлось установление количества родов грибов из присутствующих в воздухе помещения, способных использовать вяжущие вещества в качестве источника питания, а также определение конкретных видов –

представителей данного рода. Видовой состав грибов приведен в табл. 2.

После выдерживания в течение 3 месяцев образцов на портландцементе обнаружен 1 род гриба – *Aspergillus ustus*, гипсового камня – 5 родов грибов (*Aspergillus, Penicillium, Mucor, Chaetomium, Verticillium*), отвержденной эпоксидной смолы – 3 рода грибов



бов (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*). Увеличение срока выдерживания образцов способствовало расширению видового состава грибов. Из табл. 3 видно, что количество грибов, которые были обнаружены на поверхностях исследуемых составов после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение 12 месяцев, резко увеличилось. На стеклощелочном вяжущем при выдерживании в нормальных условиях в течение 3 месяцев колонии грибов не обнаружены, а после 12 месяцев колонии грибов хотя и обнаружены на образцах, но развиваются медленно и находятся в угнетенном состоянии.

В этой связи применение стеклощелочных композитов в зданиях с биологически активными средами является наиболее предпочтительным, т. к. в этом случае наряду с повышением долговечности конструкций и изделий улучшается экологическая ситуация в зданиях и сооружениях. Поселяясь на поверхности строительных материалов и конструкций, микроорганизмы приводят к возникновению запаха плесени в помещениях и выделяют токсичные продукты, аллергены. Развиваясь на материалах, грибы выделяют массу спор и различных продуктов жизнедеятельности, которые способны вызывать ряд серьезных заболеваний человека.

С целью выявления потенциальных биодеструкторов вяжущих, эксплуатирующихся в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище и солодовенном цехе пивного производства, были проведены исследования по определению видового состава микроорганизмов, заселяющих их. Эксперимент проводился в натуральных условиях в течение 6 месяцев. В качестве объектов на которых производилась экспозиция материалов рассматривались: свиноводческое помещение, птицеводческое помещение, помещение для хранения картофеля, солодовенный цех.

К родам грибов, обнаруженных на исследуемых материалах при их эксплуатации во всех выше-названных условиях, относятся *Aspergillus*, *Penicillium* и *Mucor*. При этом преобладают в значительной степени рода *Aspergillus* и *Penicillium*. Многолетние исследования в области биологической стойкости композиционных строительных материалов свидетельствуют о том, что из большого многообразия микроскопических организмов наибольший вред промышленным и строительным материалам, изделиям и конструкциям приносят грибы видов – *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum* [5, 7, 8]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что только на образцах стеклощелочного вяжущего ни в одном из случаев не были обнаружены данные виды мицелиальных грибов. На поверхности гипсового камня при эксплуатации в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище обнаружен лишь *Aspergillus niger*. На поверхностях портландцемент-

ного камня и отвержденной эпоксидной смолы при эксплуатации в птицеводческом здании выявлены оба вида данных вредоносных грибов, а при выдерживании в солодовенном цехе пивного производства – *Aspergillus niger*.

Экспериментальные исследования поведения композиционных строительных материалов (КСМ) в условиях воздействия микроскопических организмов показали снижение прочностных показателей и изменение массосодержания композитов на цементных, стеклощелочных и полимерных вяжущих. Из результатов изменения массосодержания следует, что взаимодействие материалов с микроорганизмами и продуктами их метаболизма протекает по различным механизмам. Так, композиты на цементных и гипсовых вяжущих характеризуются уменьшением, а материалы на полимерных вяжущих увеличением массосодержания. Эти данные подтверждают, что при биодеградации интенсивность коррозионных разрушений протекает аналогично деградации от химически агрессивных сред и определяется скоростью химических реакций на поверхности материала, внутренней диффузией микроорганизмов и продуктов их метаболизма в структуру материала и прохождением при этом химических реакций. Только в этом случае следует дополнительно учитывать характер взаимодействия микроорганизмов с компонентами материала.

Результаты проведенных экспериментов позволили выделить основные биодеструкторы строительных материалов и подтвердили, что даже содержащиеся в воздухе помещений административных и гражданских зданий споры микроскопических грибов могут заселяться на их поверхностях и развиваться, используя имеющиеся на них загрязнения, в качестве питательного субстрата. При наличии в зданиях и сооружениях биотехнологических производственных процессов, развитие микроскопических организмов активизируется, а количество их родов и видов увеличивается. Это еще раз подтверждает необходимость избирательного подхода при выборе строительных материалов и защитных покрытий в зависимости от конкретных условий эксплуатации и проведения профилактических мероприятий, предотвращающих или сводящих к минимуму вероятность заселения на них микроскопических организмов.

Библиографический список

1. Соломатов, В. И. Цементные композиты, наполненные стеклобоем / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, Е. А. Митина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1997. – № 9(465). – С. 72-76. – EDN SHYRRB.
2. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, М. И. Зейфман, Б. Д. Тотурбиев. - М.: Стройиздат, 1986. - 144 с.



3. Меркин А. П., Зейфман М. И. Бетоны и изделия на основе кислых вулканических стекол // Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. - Киев, 1979. - С. 15-16.

4. Ерофеев В. Т., Богатов А. Д., Строительные композиты на основе техногенных отходов // Вестник отделения строительных наук РААСН. 1999. - Вып. 2. - С. 142-150.

5. Соломатов, В. И. Строительные биотехнологии и биокомпозиты / В. И. Соломатов, В. Д. Черкасов, В. Т. Ерофеев. – Москва : Московский государственный университет путей сообщения, 1998. – 165 с. – EDN TIYKML.

6. Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. - Л.: Наука, 1984. - 230 с.

7. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов [и др.]. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2001. – 196 с. – ISBN 5-7103-0539-1. – EDN RUUGTR.

8. Разработка способов повышения биостойкости строительных материалов / Б. В. Гусев, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 4. – С. 52-58. – EDN OXBWJ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_51

**ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
СТЕНОВЫХ И ПЕРЕГОРОДОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ГИПСА
И ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

© Автор 2023

SPIN: 8159-2083

AuthorID: 662674

ResearcherID: G-5478-2018

БУЛАТОВ Булат Галиевич

старший преподаватель кафедры природообустройства, строительства
и гидравлики

*Башкирский государственный аграрный университет
(Россия, Уфа, e-mail: bfd82@mail.ru)*

Аннотация. Обоснована целесообразность расширения производства и применения гипсовых стеновых и перегородочных изделий в техническом, технологическом и экономическом аспектах. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт строительства и эксплуатации малоэтажных жилых зданий с несущими стенами из гипсобетонных блоков. Проведен анализ основных технологических процессов, используемых при получении стеновых изделий на основе природного гипса и гипсосодержащих промышленных отходов. Показана эффективность технологии полусухого прессования при массовом производстве гипсобетонных стеновых и перегородочных изделий из фосфогипса по сравнению с ранее используемыми для данных целей литьевой технологии и виброформования. Приведена технологическая схема производства мелкоштучных стеновых изделий из фосфогипса, характеристики полученных изделий и опыт их использования в жилищном строительстве.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее; фосфогипс; стеновые и перегородочные изделия; дисперсность; виброформование; полусухое прессование; фактура лицевой поверхности; строительные материалы; строительная отрасль

Для цитирования: Булатов Б.Г. Особенности выбора наиболее рациональной технологии производства стеновых и перегородочных изделий на основе природного гипса и гипсосодержащих отходов в современных условиях // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 51-54. doi:10.51608/26867818_2023_1_51.

Original article

**FEATURES OF CHOOSING THE MOST RATIONAL TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF WALL
AND PARTITION PRODUCTS BASED ON NATURAL GYPSUM AND GYPSUM-CONTAINING WASTE IN MODERN CONDITIONS**

© The Author(s) 2023

BULATOV Bulat Galievich

Senior lecturer of the Department of Environmental Engineering, Construction
and Hydraulics

*Bashkir State Agrarian University
(Russia, Ufa, e-mail: bfd82@mail.ru)*

Annotation. The expediency of expanding production and application of gypsum wall and partition wall products in technical, technological and economic aspects. Having analyzed the domestic and foreign experience in the construction and exploitation of low-rise residential buildings with load-bearing walls made of gypsum concrete blocks. Having analyzed the main technological processes used in the receiving of wall products, based on natural gypsum and gypsum-containing industrial waste. The technologies of semi-dry pressing in mass production of gypsum concrete wall and partition wall products made of phosphogypsum has shown efficiency in comparison to injection molding technology and vibro forming, which have been used before. The technological scheme for the production of small-piece wall products from phosphogypsum, the characteristics of the obtained products and experience of using them in housing construction.

Keywords: gypsum binder; phosphogypsum; wall and partition products; dispersion; vibro forming; semidry pressing; fracture surface; construction sphere



For citation: Bulatov B.G. Features of choosing the most rational technology for the production of wall and partition products based on natural gypsum and gypsum-containing waste in modern conditions // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 51-54. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_51.

Гипсовые строительные материалы и изделия, которые применяются человечеством с незапамятных времен (с древнего Египта и Месопотамии) в настоящее время переживают свое второе рождение. Причем это связано не столько с присущим именно гипсовым материалом и изделиями комплексом положительных свойств (экологичность, негорючесть, технологичность производства и применения, хорошие теплофизические свойства), сколько с низкими энергозатратами на их получение, что особенно важно в современную эпоху климатических изменений и радикального снижения углеродных выбросов. Следовательно, без существенного расширения объемов производства гипсовых строительных материалов в ближайшее время стройиндустрии не обойтись.

Если проанализировать практически всю номенклатуру гипсовых материалов и изделий, выпускаемых отечественной промышленностью строительных материалов за последние два десятилетия, то можно заметить важную тенденцию [1]. Опережающими темпами, даже по сравнению с производством портландцемента и извести, увеличивается производство гипсовых вяжущих и связанных с ними практически всех видов отделочных материалов – сухих штукатурных смесей и для самонивелирующихся стяжек под полы, гипсокартона, потолочных, звукоизоляционных и декоративных изделий. Внедряются в строительство и современные эффективные тепло и звукоизоляционные материалы на основе пеногипса (большой частью в качестве облегченных стяжек полов жилых зданий, к тому же обладающих значительными звукоизоляционными свойствами).

Однако отечественной промышленностью, к сожалению, не производится гипсовые стеновые изделия для малоэтажного строительства, за исключением ряда малотоннажных «полукустарных» производств, например гипсокерамзитовых блоков, полученных по литевой технологии, без автоматизации с обилием ручного труда. Из перегородочных изделий на гипсовой основе производятся только пазогребневые гипсовые перегородочные плиты, они безусловно качественны, имеют очень гладкую поверхность (не требуют затрат на оштукатуривание), но, к сожалению, по стоимостным параметрам не могут конкурировать с более массовыми изделиями (газобетон, пустотно-поризованными керамическими блоками, силикатный кирпич) [2; 6].

Многие исследователи и технологи полагают, что необходимо изменить этот негативный тренд, тем более что наша страна имела богатый исторический опыт массового производства гипсовых стено-

вых изделий. Двухэтажные дома, построенные в 1940-1960-х гг., уже более 80 лет назад, прекрасно эксплуатируются до сих пор [3; 10].

Тем не менее, простое копирование исторического опыта в современных условиях связано с рядом трудноразрешимых задач. В частности литевая технология получения стеновых изделий металлоемкая, имеет низкую производительность и связана с повышенным расходом гипсового вяжущего. Технология виброформования безусловно экономична, однако она требует дополнительного производства гипсового щебня различной фракционного состава. Но основным минусом данных технологий является, практически невозможность без значительных дополнительных затрат на шлифовку, создать заданные геометрические параметры полученных изделий. В том числе и пазогребневые замковые соединения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Так же соединения (не на раствор, и на клей) используются для газобетона, силикатного кирпича и блоков, пустотной керамики и даже у современных производителей керамзитобетонных стеновых блоков.

Практически единственной технологией, способной обеспечить выполнение трех основных условий – высокую производительность, экономичность (связанная с пониженным расходом гипсового вяжущего) и возможность обеспечения точных геометрических параметров производимых изделий, является технология полусухого прессования. Она уже более пятидесяти лет с успехом используется при производстве силикатного кирпича.

Что бы обеспечить эффективный процесс полусухого прессования необходимо, на мой взгляд, выполнение двух главных условий: Во-первых, сырьевая смесь должна быть очень мелкодисперсной. Во-вторых, необходимо обеспечить заданные временные параметры схватывания и твердения смеси. Если обеспечение выполнения второго условия не представляет особой сложности в практическом плане, химические добавки для регулирования сроков схватывания и твердения на рынке имеются. То обеспечение первого условия, в особенности при использовании в качестве сырья природного гипса, связано с большими сложностями, даже гипсовые отсеивы сложно домальвать в шаровой мельнице из-за их налипания на мелющие тела, помол возможен только в дезинтеграторе.

На мой взгляд, решить данную проблему возможно при использовании многотоннажных гипсосодержащих отходов промышленных производств, наиболее массовым из которых является фосфогипс. Фосфогипс является высокодисперсным веществом ($S_{уд} = 3500-4500 \text{ см}^2/\text{г}$, аналогичного цементу), его до-

малывать нет необходимости и возможно его непосредственно использовать в качестве сырьевых смесей для прессования стеновых изделий при высоких давлениях (гиперпрессование), либо в сочетании с гипсовым вяжущим при умеренных давлениях, стандартное прессование [4; 7; 9]. Получение стеновых и перегородочных изделий из фосфогипса было реализовано с участием автора в г. Уфе в опытно-промышленном масштабе с использованием установки РК-250 для прессования грунтоблоков (Рисунок 1) [5].

дочные изделия очень точной геометрии, разнообразной формы, в том числе с возможностью соединений паз-гребень в горизонтальной и вертикальной плоскостях, причем не только сплошных, но и пустотных и высокопустотных, с повышенной термической эффективностью. Второе неоспоримое преимущество данной технологии связано с самыми низкими энергозатратами по сравнению с производством подобных изделий (газобетонных блоков, керамического кирпича, бетонных изделий) [8]. В отличие от

а)



б)



Рис. 1. а) Установка РК-250 предназначенная для производства перегородочных изделий методом полусухого прессования, б) готовое изделие из фосфогипса

Полученные изделия размерами 390*190*90 мм (возможно, его использование как в качестве стенового, так и перегородочного блока), отличается хорошими геометрическими параметрами и гладкой поверхностью, поэтому выполненные из них перегородки нет необходимости оштукатуривать (аналогично пазогребневым гипсовым плитам производится только шпатлевка стеновых блоков). Несмотря на указанные преимущества, к сожалению, внедрить данную технологию в массовое производство не представляется возможным из за двух обстоятельств, так как данная технология малопроизводительна, предусматривает много ручного труда и её сложно автоматизировать, плюс необходимо выполнить пазогребневые соединения для выпускаемых изделий.

Наиболее рациональной технологией получения стеновых изделий из фосфогипса, учитывая его повышенную дисперсность, является полусухое прессование двухкомпонентных или бинарных смесей (фосфогипс 70-80% плюс гипсовое вяжущее 20-30%) при стандартных (15-20 мПа) или повышенных (20-40 мПа) давлениях, аналогично традиционной технологией получения силикатного кирпича из известково-кремнеземистых смесей, в зависимости от смесительного, помольного и прессовального оборудования. Данная технология, по сравнению с рассмотренными выше обладает двумя очень важными преимуществами. Первое связанное с возможностью полной механизации и комплексной автоматизации всех стадий технологического процесса, а также возможностью получить стеновые и перегородочные

производства силикатного кирпича, который считается самым дешевым, из технологического процесса полностью исключаются два самых энергоёмких переделов – помол сырьевой смеси в шаровых мельницах по мокрому способу, фосфогипс сам по себе имеет повышенную дисперсность и молоть его не нужно, и термовлажностная обработка отпрессованных изделий в автоклавах, гипсовые композиции твердеют на воздухе без использования дополнительных повышенных давлений и температур. Принципиальная схема технологического процесса получения стеновых изделий из фосфогипса, представлена на рисунке 2.

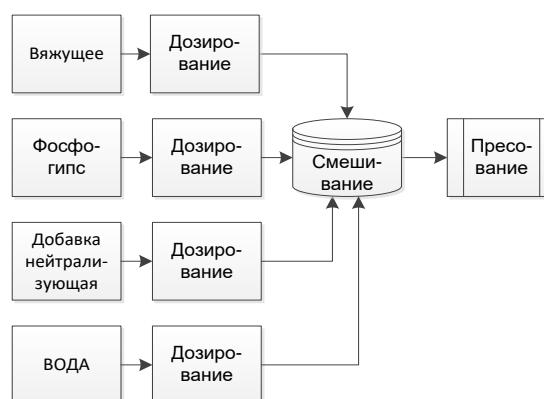


Рис. 2. Технологическая схема получения стеновых изделий из фосфогипса

Опытно-промышленные испытания показали, что полученные изделия, в частности гипсобетонные



перегородочные блоки из фосфогипса, отличаются точными геометрическими размерами, гладкой лицевой поверхностью, могут укладываться без раствора на клей и не требуют оштукатуривания с двух сторон. Фрагмент из данных изделий представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Перегородочный блок из фосфогипса, полученный по технологии полусухого прессования



Рис. 4. Внутренняя перегородка из фосфогипсобетонных блоков

Вывод. В целом, учитывая современные тенденции и повышенное внимание, которое уделяется в стройиндустрии энергосбережению и использованию отходов производства, полагаем, что представленная технология получения стеновых и перегородочных изделий из фосфогипса будет в ближайшем будущем иметь большие перспективы.

Библиографический список

1. Современное состояние и перспективные возможности использования фосфогипса для производства вяжущих материалов / Е. А. Удалова, А. И. Габитов, А. Р. Шу-

ваева [и др.] // История и педагогика естествознания. – 2016. – № 4. – С. 55-58. – EDN ZADRCR.

2. Опыт производства и эксплуатации гипсовых стеновых изделий / Р. Н. Мирсаев, В. В. Бабков, И. В. Недосеко [и др.] // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 78-80. – EDN IРKBV.

3. Исторический опыт и современные перспективы производства гипсовых стеновых изделий / Р. Н. Мирсаев, Т. В. Печенкина, В. В. Бабков [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 2(10). – С. 125-130. – EDN KBEJQT.

4. О влиянии давления прессования на свойства гипсовых безобжиговых материалов / А. Ф. Бурьянов, Т. Б. Новиченкова, В. Б. Петропавловская, Ю. Ю. Полеонова // Проблемы прочности и долговечности бетона и железобетона : Материалы научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Полака А. Ф., Уфа, 08–09 декабря 2011 года / Государственный комитет Республики Башкортостан по строительству и архитектуре, РОО "НТО строителей" Республики Башкортостан, ГУП "Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и производственный институт строительного и градостроительного комплекса РБ", ФГБОУ ВПО "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2011. – С. 102-105. – EDN UUKUNV.

5. Булатов, Б. Г. Перспективы использования результатов функционирования системы автоматизации производства стеновых изделий из фосфогипса / Б. Г. Булатов, И. В. Недосеко // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(39). – С. 302-308. – EDN YIOBDJ.

6. Петропавловская, В.Б. Гипсовые модифицированные композиции с использованием активированного базальтового наполнителя / В.Б. Петропавловская, М.Ю. Завадько, Т.Б. Новиченкова, К.С. Петропавловский, А.Ф. Бурьянов // Строительные материалы. 2020. № 7. С. 10-17.

7. Гипсовые модифицированные композиции с использованием активированного базальтового наполнителя / В. Б. Петропавловская, М. Ю. Завадько, Т. Б. Новиченкова [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 7. – С. 10-17. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-782-7-10-17. – EDN EYPONV.

8. Петропавловская, В. Б. Получение безобжиговых гипсовых изделий / В. Б. Петропавловская, А. Ф. Бурьянов, Т. Б. Новиченкова // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии : Четвертая Международная научно-практическая конференция, Ростов-на-Дону, 15 ноября 2006 года. Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2006. – С. 374-379. – EDN YSAPQB.

9. Гипсошлаковые композиции из отходов промышленности в строительных технологиях / Р. Н. Мирсаев, И. И. Ахмадулина, В. В. Бабков [и др.] // Строительные материалы. – 2010. – № 7. – С. 4-6. – EDN MTHGAP.

10. Промышленные отходы предприятий Урало,Башкирского региона в строительных технологиях / Р. Н. Мирсаев, В. В. Бабков, А. Е. Чуйкин [и др.] // Строительные материалы. – 2003. – № 10. – С. 22-24. – EDN IBEGEV.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.



Научная статья
УДК 691.3; 666.9
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_1_55

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ ИЗ ФОСФОГИПСА¹

© Авторы 2023
SPIN: 8551-8324
AuthorID: 282921

БУРЬЯНОВ Александр Фёдорович
доктор технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*
(Россия, Москва)

ПОЛУМИЕВ Эдуард Викторович
инженер
ООО «Скайград-Инновации»
(Россия, г. Королёв, Московская область)

Аннотация. Мировая промышленность массово вырабатывает концентрированные простые и сложные удобрения, содержащие P₂O₅ в водно-растворимой форме производимые, как правило, на базе экстракционной фосфорной кислоты, получаемой сернокислым разложением фосфатного сырья. В промышленности России используются только дигидратные и полудигидратные способы, за рубежом – и дигидратно-полудигидратные, и полудигидратно-дигидратные способы. Получаемые в качестве побочного продукта фосфогипс (ФГ) и фосфополугидрат (далее фосфогипс) являются многотоннажными и весьма обременительными отходами производства. Негативное влияние отвалов фосфогипса на окружающую среду общеизвестно, поэтому скорейшее решение вопросов, связанных с использованием указанных отходов производства, является весьма актуальным. В данной работе рассмотрено одно из направлений использования фосфогипса, как вторичного сырья, в производстве цемента и гипсовых вяжущих. В ходе анализа исследований российских ученых, включающие полупромышленные испытания, получен вывод о перспективности использования фосфогипса как вторичного сырья взамен природного при промышленном производстве искусственного гипсового камня.

Ключевые слова: строительные материалы; фосфогипс; искусственный гипсовый камень; промышленность строительных материалов; вопросы экологии; безотходное производство

Для цитирования: Бурьянов А.Ф., Полумиев Э.В. К вопросу получения искусственного гипсового камня из фосфогипса // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 55-58. doi:10.51608/26867818_2023_1_55.

Original article

ABOUT PRODUCING AN ARTIFICIAL PLASTER STONE FROM PHOSPHOGYPSUM

© The Author(s) 2023

BURYANOV Alexander Fedorovich
doctor of technical sciences, associate professor
National Research Moscow State University of Civil Engineering
(Russia, Moscow)

POLUMIEV Eduard Viktorovich
engineer
Skygrad-Innovations, LLC
(Russia, Korolev, Moscow region)

Annotation. The world industry is making a lot of concentrated simple and complex fertilizers with P₂O₅ in water-soluble form. These fertilizers are usually made with phosphoric acid, which is made by reducing phosphate raw materials with sulfuric acid. In the Russian industry only dihydrate and semi-dihydrate methods are used, and abroad - also both dihydrate-semihydrate and

¹ Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



semihydrate ways. Phosphogypsum and phosphosemihydrate (hereinafter phosphogypsum) produced as a by-product are multi-tonnage and very burdensome production wastes. The negative impact of phosphogypsum dumps on the environment is well known, so the early resolution of issues related to the use of these waste products is very relevant. This paper considers one of the uses of phosphogypse as a secondary raw material in the production of cement and gypsum binders. In the course of the analysis of research by Russian scientists, including semi-industrial tests, a conclusion has been made about the prospect of using phosphogypsum as a secondary raw material instead of natural in the industrial production of artificial gypsum stone.

Keywords: building materials; phosphogypsum; artificial plaster stone; industry of building materials; environmental issues; waste-free production

For citation: Buryanov A.F., Polumiev E.V. About producing an artificial plaster stone from phosphogypsum // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 55-58. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_55.

В настоящее время во всем мире концентрированные простые и сложные удобрения, содержащие P_2O_5 в водно-растворимой форме, производятся и будут производиться в основном на базе экстракционной фосфорной кислоты, получаемой сернокислым разложением фосфатного сырья. Образующийся при этом сульфат кальция в зависимости от температуры процесса и концентрации P_2O_5 в жидкой фазе кристаллизуется в виде дигидрата, полугидрата или ангидрита. Получаемые в качестве побочного продукта дигидрат или полугидрат сульфата кальция в связи с содержанием в них примесей P_2O_5 (неразложненного фосфата, недомытой фосфорной кислоты, сокристаллизационного P_2O_5) называют соответственно фосфогипс (ФГ) и фосфополугидрат. Но при рассмотрении проблемы транспортирования, хранения и использования оба продукта обычно называют фосфогипсом. Фосфогипс является многотоннажным и весьма обременительным отходом производства. На отдельных предприятиях количество получаемого фосфогипса достигло огромных величин, а в целом по стране на сегодня в отвалах скопилось сотни млн. тонн. Вопросы использования фосфогипса становятся все более актуальными по многим причинам:

- транспортирование фосфогипса в отвалы и его хранение в них связано с большими капитальными вложениями и эксплуатационными затратами;
- для создания отвалов фосфогипса приходится отчуждать большие площади, иногда даже обрабатываемых земель; хранение фосфогипса в отвалах, даже при нейтрализации растворимых примесей фосфогипса и правильной эксплуатации отвала, наносит вред окружающей среде.

Негативное влияние отвалов фосфогипса на окружающую среду проявляется в загрязнении атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенно-растительного покрова вредными веществами. Поэтому решение вопросов, связанных с использованием фосфогипса является весьма актуальным. Одним из направлений использования фосфогипса как вторичного сырья взамен природного является его применение для производства цемента и гипсовых вяжущих.

Работами, выполненными под руководством П.П. Будникова [1-2], показана возможность получения искусственного гипсового камня из природного гипсового сырья без образования на промежуточной стадии метастабильных модификаций сульфата кальция (полугидрата или ангидрита). Это направление, несмотря на его технико-экономическое преимущество, не нашло развития, на наш взгляд, из-за высоких энергозатрат при помолу природного гипсового сырья, характеризующегося прочностью при сжатии до 80-90 МПа, сложностью прессового оборудования, а также высокой объемной массой изделий.

Ряд из указанных негативных сторон этого направления исключается при использовании вместо природного сырья дисперсных гипсосодержащих отходов и, в частности, фосфогипса.

Исследования и разработки по окускованию фосфогипса велись еще в Советском Союзе во ВНИИСТРОМЕ им. П.П. Будникова, МХТИ им. Д.И. Менделеева, НИУИФ, НИИЦЕМЕНТЕ и продолжают сегодня [3-6].

Однако разработанные технологические схемы и оборудование для гранулирования и брикетирования фосфогипса оказались достаточно энергоемкими, металлоемкими, требующими значительных капитальных затрат, создания дорогостоящих систем очистки и утилизации сточных вод или дорогостоящих пылеосадительных систем. В результате стоимость получаемого окускованного фосфогипса значительно превышает стоимость природного сырья.

Целью исследований, проводимых группой компаний «Скайград» совместно с НИУ МГСУ является разработка комплексной безотходной промышленной технологии переработки отвалов фосфогипса и организация промышленного производства искусственного гипсового камня из фосфогипса, полученного после выделения группового концентрата редкоземельных элементов (РЗЭ), в Московской области на территории отвалов фосфогипса в Воскресенском районе мощностью 150 тыс. тонн в год.

В качестве исходного сырья использован фосфогипс ПО "Минудобрения" (г. Воскресенск Москов-



ской области) с влажностью 32%, удельной поверхностью 0,3 м²/г и рН = 1,2 и химическим составом, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Не-рас-твори-мый в HCl	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SO ₃	Вода гид-рат-ная	CaSO ₄ · 2H ₂ O (рас-четное)
1,12	0,02	0,06	0,91	32,98	45,55	19,45	92,8

В результате проведенных исследований разработаны технологии извлечения РЗЭ, создано опытно промышленное производство (7-10) в г. Королев, Московской области. Образующийся после извлечения РЗЭ фосфогипс, передается на опытно-промышленную линию производства искусственного гипсового камня.

Отфильтрованная после очистки от РЗЭ, фосфора, фтора и нейтрализации влажная пластичная вязкая масса фосфогипса поступает в приемный бункер шнекового дозатора и поступает в сушилку для подсушивания до технологической влажности 15-20%. Стабилизированный по влажности ФГ направляется в смеситель-гомогенизатор. Задача данной операции заключается в уплотнении и гомогенизации фосфогипса. В процессе обработки происходит существенное увеличение объемной плотности сырья.

Уплотненный фосфогипс выгружается на ленточный транспортер и подается в бункер-дозатор барабанного гранулятора. В грануляторе происходит окомковывание и уплотнение материала. На выходе гранулятора образуется полифракционный состав гранул в среднем от 5 до 30 мм. Гранулы размером 5-10 мм возвращаются на вход гранулятора для дополнительной грануляции и увеличения размеров. Остальные гранулы подаются в сушилку для окончательной сушки до требуемой влажности. Готовый гранулированный гипсовый камень поступает на склад готовой продукции.

Форма и полифракционный состав продукта (см. рисунок) позволяет использовать для его перемещения нестандартные методы, например, пневмотранспорт, который подает материал трубопроводом на расстояние до 200 м.

Исследование возможности использования полученного на опытно-промышленной установке

ООО «Скайград Инновации» искусственного гипсового камня из фосфогипса в качестве регулятора сроков схватывания проводили на кафедре цемента БГТУ им. В.Г. Шухова

Для проведения испытаний были использованы клинкеры ЗАО «Белгородский Цемент» и АО «Себряковцемент».



Рис. Общий вид гранул фосфогипса

Произведен совместный помол клинкера и гипса в шаровой лабораторной мельнице с остатком на сите №008 не более 7 %. Для сравнения использовали также новомосковский гипсовый камень, применяемый ЗАО «Белгородский Цемент» при производстве цемента.

Проведен химический анализ искусственного гипсового камня (таблица 2), новомосковского гипса (таблица 3) и полученных цементов на себряковском и белгородском клинкере с гранулами и новомосковским гипсом.

Гипс, в пересчете на SO₃, вводили в клинкер в 2-х дозировках – 2,35 и 3,7 % (ГОСТ 31108-2016).

Определение сроков схватывания проводили по методике, изложенной в ГОСТ 30744-2001 «Методы испытаний».

Испытания показали, что ввод 3,7% несколько замедляет начало сроков схватывания на обоих клинкерах. Использование новомосковского и искусственного гипса при снижении ввода SO₃ до 2,35 % не дает отличий в сроках начала и конца схватывания.

Таблица 2. Химический состав искусственного гипса

Оксиды	CaO	SO ₃	SrO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Другие	ппп
масс.%	32,2	43,2	1,53	0,89	0,65	0,34	0,18	0,14	0,42	20,45

Таблица 3. Химический состав новомосковского гипса

Оксиды	CaO	SO ₃	SrO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Другие	ппп
масс.%	30,7	42,39	0,0481	2,85	1,12	-	0,32	0,12	0,35	22,1



Таким образом, регулируя количество вводимого гипса в пересчете на SO_3 , можно изменять сроки схватывания.

Полупромышленные испытания искусственного гипсового камня были проведены на ряде цементных заводов Центрального региона России, таких как Серебрянский, Подольский и др.

Результаты испытаний в заводских лабораториях подтвердили выводы, сделанные кафедрой цемента БГТУ им. В. Г. Шухова о том, что содержание SO_3 в гранулах из фосфогипса выше (43,8%), чем в природном гипсовом камне (38%), что позволяет снизить дозировку при помолу цемента.

Также отмечено, что искусственный гипсовый камень из фосфогипса имеет неоспоримые технологические преимущества при транспортировке, подаче и дозировании.

Библиографический список

1. Будников П.П. Избранные труды. Изд. Ак. наук Украинской ССР, Киев, 1960.
2. Гулинова Л.Г., Ипатьева В.А. Гипсовый безобжиговый цемент и изделия. Изд. Ак. архитектуры Украинской ССР, Киев, 1954.
3. Шестаков В.Л., Дворкин Л.И. Возможность гранулирования фосфогипса // Цемент. - 1983. - №7.
4. Бурьянов, А. Ф. Гипс, его исследование и применение - от П. П. Будникова до наших дней / А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2005. – № 9. – С. 40-44. – EDN HZISUB.

5. Михеенков, М. А. Искусственный гипсовый камень на основе фосфогипса / М. А. Михеенков // Цемент и его применение. – 2009. – № 5. – С. 81-84. – EDN KYAVJF.

6. Михеенков, М. А. Производство искусственного гипсового камня / М. А. Михеенков, В. Ким, Л. И. Полянский // Строительные материалы. – 2010. – № 7. – С. 13-17. – EDN MTHGBJ.

7. Абрамов А.М., Соболев Ю.Б., Галиева Ж.Н., Галиев Р.С., Сабина О.Р. Комплексная технология переработки фосфогипса с получением концентрата РЗМ, гипсового вяжущего и строительных изделий на его основе // Редкоземельные элементы: геология, химия, производство и применение: Сб. материалов международной конференции, Москва, 29-31 октября 2012 г. – М.: ОАО «ВНИИХТ», 2012. – С. 41-42

8. Разработка универсальной технологии и оборудования для разделения редкоземельных концентратов в каскадах центробежных экстракторов, освоение производства / Ж. Н. Галиева, А. М. Абрамов, Ю. Б. Соболев [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2019. – № 3. – С. 54-60. – EDN PALOSI.

9. Патент № 2487834 С1 Российская Федерация, МПК C01F 17/00. Способ извлечения редкоземельных металлов из фосфогипса : № 2011153512/05 : заявл. 27.12.2011 : опубл. 20.07.2013 / А. М. Абрамов, Ж. Н. Галиева, Р. С. Галиев [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Лаборатория Инновационных Технологий". – EDN FPKNXJ.

10. Separating Rare-Earth Elements on Centrifugal Extractors: Developing Technology, Designing Equipment, and Engineering Production / A. M. Abramov, O. I. Volobuev, Z. N. Galieva [et al.] // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 54, No. 4. – P. 762-768. – DOI 10.1134/S0040579520040028. – EDN OULLKX.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 691.3

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_59

АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ, ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК*

© Авторы 2023

SPIN: 6597-4420

AuthorID: 933723

ORCID: 0000-0002-3008-6242

ScopusID: 57195424982

ResearcherID: AAN 7738-2020

ВОЛОДИН Владимир Владимирович

инженер научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: volodinvv1994@gmail.com)

SPIN: 7494-0840

AuthorID: 131099

ORCID: 0000-0002-2328-6238

ScopusID: 57190161363

ResearcherID: B-1228-2017

НИЗИНА Татьяна Анатольевна

доктор технических наук, профессор
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: nizinata@yandex.ru)

Аннотация. Проведен анализ состояния минерально-сырьевых ресурсов Республики Мордовия, в частности, нерудного сырья – глин, песков, карбонатных пород и др. Учитывая возрастающую потребность в цементе, проведена оценка пригодности минерально-сырьевой базы Республики Мордовия для производства активных минеральных добавок на основе термоактивированных глин Старошайговского, Макаровского, Рузаевского, Саранского, Никитского и Кочкушского месторождений. Выявлен наиболее оптимальный режим получения минеральных добавок-глинитов – обжиг в течение 2 часов при температуре 700 °С с последующим помолом в шаровой мельнице в течении 1 часа. В результате комплексных исследований были получены подтверждения о перспективности разработки минеральных добавок для цементных систем на основе полиминеральных глин из минерально-сырьевой базы Республики Мордовия.

Ключевые слова: строительные материалы; активные минеральные добавки; цементная промышленность; Республика Мордовия; цемент; нерудное сырье; модифицированный цементный камень

Для цитирования: Володин В.В., Низина Т.А. Анализ минерально-сырьевой базы Республики Мордовия, пригодной для производства активных минеральных добавок // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 59-62. doi:10.51608/26867818_2023_1_59.

Original article

ANALYSIS OF THE MINERAL RAW MATERIAL BASE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA SUITABLE FOR THE PRODUCTION OF ACTIVE MINERAL ADDITIVES

© The Author(s) 2023

VOLODIN Vladimir Vladimirovich

engineer of the research laboratory of ecological and meteorological monitoring, construction technologies and expertise
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

NIZINA Tatiana Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: nizinata@yandex.ru)

Annotation. The article conducts the analysis of the condition of mineral resources of the Mordovia Republic, which contain mainly non-metallic raw materials. Authors have noted the trend of the decline of the reserves of these deposits of the republic

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



and have characterized their repayment without subsequent replenishment. Considering the increasing demand for cement, an assessment was made of the suitability of the mineral-raw material base of the Republic of Mordovia for the production of active mineral additives on the clays of the Staroshaigovsky, Makarovsky, Ruzayevsky, Saransky, Nikitsky and Kochkushsky deposits. As a result of complex studies, confirmation of the prospect of development of mineral additives for cement systems based on polymineral clays from the mineral-raw materials base of the Republic of Mordovia was obtained.

Keywords: building materials; active mineral additives; cement industry; Republic of Mordovia; cement; non-metallic raw material; modified cement stone

For citation: Volodin V.V., Nizina T.A. Analysis of the mineral raw material base of the Republic of Mordovia suitable for the production of active mineral additives // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 59-62. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_59.

Характерной особенностью минерально-сырьевой базы Республики Мордовия является наличие, в основном, нерудного сырья: глин, песков, карбонатных пород, кремнистого сырья и др. Данные полезные ископаемые связаны с приповерхностным залеганием и выходами на поверхность пород каменноугольной, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем [1]. В кадастре месторождений Республики Мордовия учтено 159 месторождений, на балансе находятся 96, из них официально вовлечены в эксплуатацию 44.

Цементная промышленность является одной из наиболее развитых отраслей промышленности, имеющей федеральное значение. Исходным сырьем для производства цемента в Республике Мордовия служат мергельно-меловые породы Алексеевского месторождения, а также глинистые породы Кочкушского месторождения, используемые в качестве корректирующих добавок. Однако динамика запасов данных месторождений характеризуется лишь их погашением без последующего восполнения. Учитывая возрастающую потребность в цементе, на территории республики проводятся геологические исследования с целью расширения сырьевой базы [2].

Применение активных минеральных добавок в составе вяжущего является наиболее простым и эффективным способом снижения клинкерной части, позволяющей одновременно снизить ресурсо-, энергозатраты и отрицательное воздействие на экологию при производстве портландцемента. С целью расширения минерально-сырьевой базы для производства активных минеральных добавок получили развитие исследования по оценке эффективности различных видов минеральных добавок, в том числе широко распространенных полиминеральных глин [3-5]. В работах [6-7] представлены результаты исследований пуццоланической эффективности прокаленных молотых глин Оренбургской, Челябинской областей и Республики Татарстан. Показано, что данные глины могут иметь пуццоланическую активность, не уступающую широко распространённым минеральным добавкам – микрокремнезёму и метакаолину.

Учитывая то, что глинистые породы составляют значительную часть полезных ископаемых Республики Мордовия, но только одно месторождение (Кочкушское) используется при производстве портландцемента, коллективом научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» были проведены исследования влияния минеральных добавок на основе термоактивированных глин Республики Мордовия на свойства цементных композитов. Оценка пригодности минерально-сырьевой базы Республики Мордовия для производства активных минеральных добавок на их основе проводилась на глинах Старосайговского, Макаровского, Рузаевского, Саранского, Никитского и Кочкушского месторождений.

Индекс активности глин после термической обработки определялся в соответствии с методикой ГОСТ Р 56178-2014 путём сопоставления результатов испытаний пределов прочности при сжатии мелкозернистых бетонов, содержащих 10% термоактивированной глины в составе вяжущего, вводимых взамен портландцемента, в возрасте 28 суток. В качестве основного компонента вяжущего был использован портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Б производства АО «Мордовцемент» с активностью на момент испытаний 51,9 МПа. Исследования проводились на монофракционном песке Вьяского месторождения Республики Мордовия. Водовязущее отношение составляло 0,42, соотношение вяжущего и песка – 1:3.

В процессе получения минеральных добавок исходное глинистое сырьё подвергалось обжигу в течение 2-4 часов при температуре 400-800 °С с последующим измельчением. Исходя из анализа комплекса исследуемых физико-механических показателей установлено, что наиболее оптимальным режимом является обжиг глинистых пород в течение 2 часов при температуре 700 °С с последующим помолом в шаровой мельнице в течении 1 часа. Результаты испытаний серий мелкозернистых цементных бетонов с добавками шести видов глинистых пород, получаемых по вышеуказанному режиму, приведены в таблице.



Прочностные показатели модифицированных мелкозернистых бетонов и индекс активности минеральных добавок на основе термоактивированных полиминеральных глин Республики Мордовия

№	Месторождение глинистых пород Республики Мордовия	Предел прочности при сжатии, МПа	Индекс активности МД, %
1	Кочкушское	52,9	102
2	Никитское	54,7	105
3	Старошайговское	52,4	101
4	Саранское (с. Поповка)	51,8	100
5	Рузаевское (АО «Керамик»)	50,9	98
6	Макаровское	47,7	92

Анализ полученных данных показал, что минеральные добавки на основе глин Никитского, Кочкушовского и Старошайговского месторождений Республики Мордовия, обожженных по рекомендуемому режиму, являются активными с $K_{мд} > 100\%$. Замена 10% портландцемента добавкой обожженной глины Поповского месторождения позволяет достичь активности смешанного вяжущего 51,8 МПа, что находится на уровне активности портландцемента. Термическая обработка глин Рузаевского (АО «Керамик») и Макаровского месторождений в заданном температурно-временном режиме обжига не позволяет получить смешанное цементное вяжущее с активностью, соответствующей, либо превышающий аналогичный показатель для бездобавочных мелкозернистых бетонов.

В результате комплексных исследований были получены следующие результаты: определен оптимальный режим обжига полиминеральных глинистых пород [8]; произведена оценка влияния добавок на основе обожженных глин на фазовый состав и физико-механические характеристики цементного камня [9]; исследована кинетика ранних стадий твердения цементных систем модифицированных добавками на основе термоактивированных глинистых пород [10]; изучен характер изменения прочных показателей цементного камня во временном интервале от 1 суток до 1 года [11]; исследовано влияние различных концентраций разработанных добавок на прочностные показатели цементных композиций [12-13]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что глины, являющиеся повсеместно распространенным, доступным и дешёвым материалом, представляют собой ценное сырьё для получения минеральных добавок для цементных вяжущих. Итогом проведенных исследований стала разработка и получение патента на составы самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с применением минеральных добавок на основе термоактивированных глин Республики Мордовия [14].

Проведённые исследования подтверждают перспективность и актуальность направления по разработке минеральных добавок для цементных систем на основе полиминеральных глин, что позволит расширить номенклатуру выпускаемых на сегодняшний день модификаторов за счёт более полного использования местной минеральной сырьевой базы Республики Мордовия.

Библиографический список

1. Маскайкин, В. Н. Прогноз прироста запасов полезных ископаемых на территории Мордовии / В. Н. Маскайкин, А. А. Белов, А. В. Кирюшин // Современные проблемы территориального развития. – 2017. – № 1. – С. 6. – EDN YTCUUF.
2. Минерально-сырьевая база строительной отрасли Мордовии : практическое пособие / В. П. Селяев, А. А. Ямашкин, Л. И. Куприяшкина [и др.]. Том Часть 1. – Саранск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва", 2013. – 152 с. – ISBN 978-5-7103-2709-8. – EDN TIUYRV.
3. Schulze S.E. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials / S.E. Schulze, R. Pierkes, J. Rickert // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. – Beijing, China. – 2015. – 693 p.
4. Castello L.R. Evolution of calcined clays soils as supplementary cementitious materials / L.R. Castello, H.J.F. Hernandes, K.L. Scrivener, M. Antonic // Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». – Madrid. – 2011. – P. 117.
5. Fernandez R. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite / R. Fernandez, F.Martizena, K.L. Scrivener // Cement and Concrete Research. – 2011. – № 41. – P. 113-122.
6. Рахимов, Р. З. Влияние добавок в портландцемент прокаленной и молотой глины с содержанием 40% каолинита на прочность цементного камня / Р. З. Рахимов, Н. Р. Рахимова, А. Р. Гайфуллин // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 2. – С. 129-131. – EDN UGUXHD.
7. Гайфуллин, А. Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня / А. Р. Гайфуллин, Р. З. Рахимов, Н. Р. Рахимова // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 7(59). – С. 66-73. – DOI 10.5862/MCE.59.7. – EDN VBPUJD.
8. Влияние добавок на основе обожженной глины на прочность модифицированного цементного камня / Т. А. Низина, В. В. Володин, А. С. Балыков [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3(40). – С. 58-67. – EDN FGLZXY.
9. Влияние термоактивированных глин и карбонатных пород на фазовый состав и свойства модифицированного цементного камня / Т. А. Низина, А. С. Балыков, В. В. Володин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 8(728). – С. 45-55. – DOI 10.32683/0536-1052-2019-728-8-45-55. – EDN UZCTTH.
10. Кинетика ранних стадий твердения цементных систем с индивидуальными и комплексными добавками



разной химической природы / Т. А. Низина, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин [и др.] // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году* : Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах / Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – С. 186-192. – EDN FWOYMJ.

11. Оценка кинетики твердения цементного камня, модифицированного добавками термоактивированной глины и карбонатных пород / Т. А. Низина, В. В. Володин, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин // *Региональная архитектура и строительство*. – 2021. – № 1(46). – С. 86-94. – EDN NJYBUO.

12. Влияние добавок глинистых на прочностные характеристики модифицированного цементного камня /

А. С. Балыков, В. В. Володин, М. О. Карабанов [и др.] // *Огарёв-Online*. – 2020. – № 3(140). – С. 3. – EDN CJISLJ.

13. Прочность цементного камня с минеральными добавками на основе обожженной глины и карбонатных пород / А. С. Балыков, Т. А. Низина, В. В. Володин, Д. И. Коровкин // *Эксперт: теория и практика*. – 2020. – № 4(7). – С. 26-30. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10031. – EDN RJCINA.

14. Патент № 2778123 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04, С04В 111/20, С04В 111/62. Мелкозернистая самоуплотняющаяся бетонная смесь : № 2022103662 : заявл. 14.02.2022 : опубл. 15.08.2022 / Т. А. Низина, В. В. Володин, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва". – EDN AWJVQG.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья
УДК 691.3
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_1_63

**САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ
НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД**

© Авторы 2023
SPIN: 6597-4420
AuthorID: 933723
ORCID: 0000-0002-3008-6242
ScopusID: 57195424982
ResearcherID: AAN 7738-2020

ВОЛОДИН Владимир Владимирович
инженер научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: volodinvv1994@gmail.com)

SPIN: 7494-0840
AuthorID: 131099
ORCID: 0000-0002-2328-6238
ScopusID: 57190161363
ResearcherID: B-1228-2017

НИЗИНА Татьяна Анатольевна
доктор технических наук, профессор
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: nizinata@yandex.ru)

Аннотация. В статье приведены результаты исследования физико-механических свойств самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей с модификаторами на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород. По итогам исследования разработаны составы модифицированных мелкозернистых бетонов классов по прочности на сжатие B40÷B55 из самоуплотняющихся смесей со следующими показателями качества: плотность в равновесном влажностном состоянии – 2248÷2327 кг/м³; предел прочности на растяжение при изгибе – 8,2÷9,5 МПа; предел прочности при сжатии – 59,2÷72,1 МПа; модуль упругости при сжатии – 30954÷35492 МПа; предельная сжимаемость – 2,13÷2,29 мм/м.

Ключевые слова: модифицированные цементные вяжущие; мелкозернистые бетоны; самоуплотняющиеся смеси; минеральные добавки; глина; известняк; прочностные показатели; подвижность; строительные материалы

Для цитирования: Володин В.В., Низина Т.А. Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны с минеральными добавками на основе глинистых и карбонатных пород // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 63-68. doi:10.51608/26867818_2023_1_63.

Original article

**SELF-COMPASSING FINE GRAIN CONCRETE WITH MINERAL ADDITIVES
ON THE BASIS CLAY AND CARBONATE ROCKS**

© The Author(s) 2023

VOLODIN Vladimir Vladimirovich
engineer of the research laboratory of ecological and meteorological monitoring, construction technologies and expertise
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

NIZINA Tatiana Anatolyevna
Doctor of Technical Sciences, Professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: nizinata@yandex.ru)

Annotation. The article presents the results of a study of the physical and mechanical properties of self-compacting fine-grained concrete mixtures with modifiers based on thermally activated clay and carbonate rocks. Based on the results of the study, compositions of modified fine-grained concretes of classes in compressive strength B40÷B55 from self-compacting mixtures were developed, with the following quality indicators: density in an equilibrium moisture state – 2248÷2327 kg/m³; ultimate



tensile strength in bending – 8.2 ± 9.5 MPa; compressive strength – 59.2 ± 72.1 MPa; modulus of elasticity in compression – 30954+35492 MPa; ultimate compressibility – 2.13 ± 2.29 mm/m.

Keywords: modified cement binders; fine-grained concretes; self-compacting mixtures; mineral additives; clay; limestone; strength indicators; mobility; building materials

For citation: Volodin V.V., Nizina T.A. Self-compacting fine grain concrete with mineral additives on the basis clay and carbonate rocks // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 63-68. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_63.

Основным строительным материалом XXI века является бетон. Цемент, как основной компонент бетона, является относительно недорогим и легкодоступным компонентом. Темпы развития цементной промышленности в 1,5-2 раза превышают темпы роста мирового ВВП, а мировое потребление цемента достигает 4,3 млрд. тонн в год [1]. Анализ потребления цемента в мире показывает, что его рост наблюдается в странах, которые начинают развивать собственную инфраструктуру, имеют прирост населения и ВВП [2]. В РФ так же действуют несколько национальных проектов, целями которых является повышение качества и наращивание объёмов строительства. Возрастающие темпы строительства в России требуют разработки и производства дешёвых и высокоэффективных строительных материалов с использованием местного минерального сырья.

Характерной особенностью минерально-сырьевой базы Республики Мордовия является наличие, в основном, нерудного сырья: глин, песков, карбонатных пород, кремнистого сырья и др. Данные полезные ископаемые связаны с приповерхностным залеганием и выходами на поверхность пород каменноугольной, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем [3]. В кадастре месторождений Республики Мордовия учтено 159 месторождений, на балансе находятся 96, из них официально вовлечены в эксплуатацию 44. Исходным сырьем для производства цемента в Мордовии служат мергельно-меловые породы Алексеевского месторождения, а также глинистые породы Кочкушского месторождения, используемые в качестве корректирующих добавок. Однако динамика запасов данных месторождений характеризуется лишь их погашением без последующего восполнения. Учитывая возрастающую потребность в цементе на территории республики проводятся геологические исследования с целью расширения сырьевой базы [4].

Применение активных минеральных добавок в составе вяжущего является наиболее простым и эффективным способом снижения клинкерной части, позволяющей одновременно снизить ресурсо-, энергозатраты и отрицательное воздействие на экологию при производстве портландцемента [5 – 9]. С целью расширения минерально-сырьевой базы для производства активных минеральных добавок получили развитие исследования по оценке эффективно-

сти различных видов минеральных добавок, в том числе широко распространенных полиминеральных глин [10 – 12]. В работах [13, 14] представлены результаты исследований пуццоланической эффективности прокаленных молотых глин Оренбургской, Челябинской областей и Республики Татарстан. Показано, что данные глины могут иметь пуццоланическую активность, не уступающую широко распространённым минеральным добавкам – микрокремнезёму и метакаолину. Эффективность минеральных добавок на основе глинистых пород также подтверждена результатами собственных исследований [15 – 19].

Учитывая то, что глинистые породы составляют значительную часть полезных ископаемых Республики Мордовия, а также то, что в регионе отсутствуют запасы качественного крупного заполнителя, целью данной работы являлась разработка мелкозернистых цементных бетонов, модифицированных минеральными добавками на основе глинистых и карбонатных пород Республики, обладающих повышенными прочностными и эксплуатационными показателями, а также высокой удобоукладываемостью.

Исследования проводились на портландцементе ЦЕМ I 42,5Б производства АО «Мордовцемент» (Ц), песке (П) Болотниковского месторождения Республики Мордовия с модулем крупности $M_{кр}=1,8$ и минеральных добавках (МД) на основе полезных ископаемых Республики Мордовия – глины Никитского месторождения (ТГН) и смеси глины Никитского и известняка Атемарского месторождений (ТС(ГН+ИА)), обожжённых при температуре 700 °С в течение 2 часов. В качестве пластифицирующей добавки применялся поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 5581 F (СП).

Расход портландцемента в бетонных смесях, модифицированных минеральными добавками, составлял, согласно требованиям [20], не более 650 кг/м³. Повышение физико-механических свойств мелкозернистых бетонов достигалось за счёт увеличения расхода вяжущего (Ц+МД). Доля минеральных добавок в составе вяжущего составляла 10, 15 и 20% по массе. Пластифицирующая добавка Melflux 5581 F вводилась в количестве 1% от массы вяжущего. С учетом доли вводимой добавки и расхода вяжущего мелкозернистые бетонные смеси делились на три группы: группа 1 (составы №1 – 3) – Ц+МД=720 кг/м³



(10% МД от массы вяжущего для составов №2 и 3); группа 2 (составы №4 – 6) – Ц+МД=760 кг/м³ (15% МД от массы вяжущего для составов №5 и 6); группа 3 (составы №7 – 9) – Ц+МД=810 кг/м³ (20% МД от массы вяжущего для составов №8 и 9). Рецептурно-технологические показатели разработанных мелкозернистых бетонных смесей представлены в таблице 1, физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов на их основе – в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показал, что модифицированные разработанными МД бетонные смеси (составы №2, 3, 5, 6, 7, 8) обладают распылом из конуса Хегерманна на уровне 220÷280мм. При этом подвижность ряда составов (№5, 6, 8 и 9) находится на уровне 260÷280мм, что согласно работам [21, 22] соответствует самоуплотняющимся бетонным смесям.

Таблица 1. Рецептурно-технологические показатели бетонных смесей

№ состава	№ группы	П/(Ц+МД), отн. ед.	В/(Ц+МД), отн. ед.	МД/(Ц+МД), %		Распыл из конуса Хегерманна, мм
				ТГН	ТС(ГН+ИА)	
1(К1)	1	2,05	0,29	-	-	240
2		2,04	0,29	10	-	230
3		2,04	0,29	-	10	220
4(К2)	2	1,86	0,29	-	-	290
5		1,84	0,29	15	-	280
6		1,84	0,29	-	15	270
7(К3)	3	1,66	0,27	-	-	290
8		1,63	0,27	20	-	280
9		1,64	0,27	-	20	270
10(К4)	-	2,37	0,32	-	-	180

Таблица 2. Физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов

№ состава	Плотность, кг/м ³	Предел прочности в проектном возрасте (28 суток), МПа		Модуль упругости при сжатии (28 суток), МПа	Пределная сжимаемость, мм/м	Доля ранней прочности при сжатии, %, в возрасте	
		при сжатии	при изгибе			1сут.	7сут.
1(К1)	2299	62,8	8,2	30962	2,20	35,5	81,5
2	2298	66,7	8,7	33172	2,22	38,6	84,8
3	2293	64,4	8,4	34241	2,22	37,1	85,1
4(К2)	2321	69,3	10,6	36384	2,25	43,7	88,8
5	2282	72,1	8,2	34163	2,29	44,3	85,2
6	2271	68,2	8,5	32268	2,25	40,4	87,5
7(К3)	2327	74,3	11,4	37162	2,27	45,1	89,5
8	2280	65,6	8,9	35491	2,22	39,5	85,4
9	2264	59,2	9,5	30954	2,13	39,3	83,8
10(К4)	2248	50,9	7,5	26215	2,08	34,4	91,8

Плотность исследуемых бетонов в равновесном влажностном состоянии варьируется в достаточно узком интервале – от 2248 до 2327 кг/м³. Увеличение расхода смешанного вяжущего более 650 кг/м³ как за счет введения разработанных добавок, так и за счет содержания цемента приводит к повышению плотности мелкозернистых бетонов, не превышающему 0,7÷3,5% (табл. 2). Наибольшие значения плотности в рассматриваемых группах имеют мелкозернистые бетоны контрольных составов №7(К3), 4(К2) и 1(К1) – соответственно 2327, 2321 и 2299 кг/м³. Плотность составов 2 и 3 с расходом вяжущего 720 кг/м³ близка к аналогичному показателю контрольного бетона данной группы (1(К1)). Уменьшение значений плотности внутри исследуемых групп 2 и 3 по отношению к контрольным составам №4(К2) и 7(К3) обусловлено, в первую очередь, более низкой по сравнению с портландцементом истинной плотностью применяемых минеральных добавок ТГН и ТС(ГН+ИА).

В возрасте 28 суток для модифицированных минеральными добавками на основе глинистых и карбонатных пород мелкозернистых бетонов зафиксированы следующие упруго-прочностные показатели: предел прочности на растяжение при изгибе – 8,2÷9,5 МПа; предел прочности при сжатии – 59,2÷72,1 МПа; модуль упругости при сжатии – 30954÷35491 МПа; предельная сжимаемость – 2,13÷2,29 мм/м. Исследуемые составы характеризуются достаточно высокими темпами набора прочности – 34÷45% и 82÷92% от проектной прочности, соответственно, в возрасте 1 и 7 суток. При этом кинетика набора прочности мелкозернистых бетонов, модифицированных разработанными минеральными добавками, превышающая или близкая к контрольным составам исследуемых групп, зафиксирована только в группах 1 и 2, содержащих МД, вводимые в количестве 10 и 15% от массы вяжущего. Увеличение расхода МД до 20% от массы вяжущего (группа 3 – составы №8 и 9) приводит к падению прочностных показателей бетона при сжатии по сравнению с контрольным составом №7 (К3), достигающему 12÷20%.

Увеличение расхода смешанного вяжущего до 720÷760 кг/м³ за счет дополнительного введения 10÷15% минеральных добавок (по массе вяжущего) приводит к повышению предела прочности при сжатии на 33÷46% от прочности немодифицированного контрольного состава №10(К4) с расходом цемента 650 кг/м³ (рис. 1). Повышение концентрации вводимых добавок ТГН и ТС(ГН+ИА) до 20% от массы вяжущего сопровождается снижением прочностных показателей исследуемых бетонов (составы №8 и 9). При этом по сравнению с контрольным составом №10(К4) прирост предела прочности при сжатии для

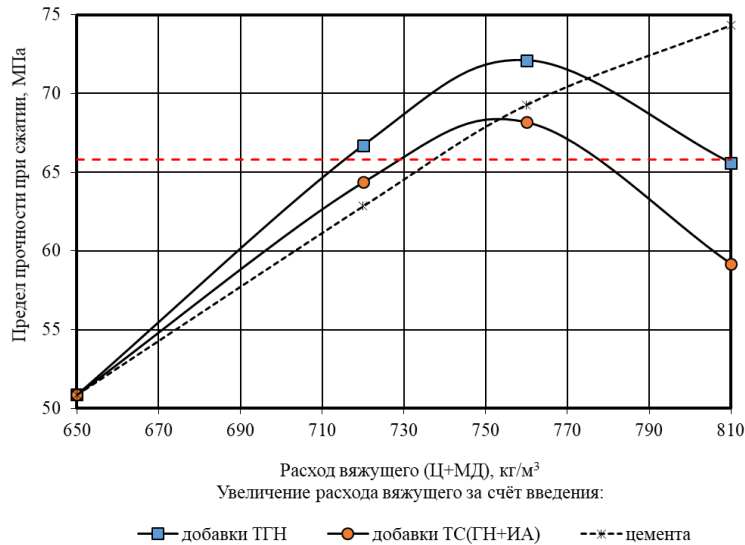
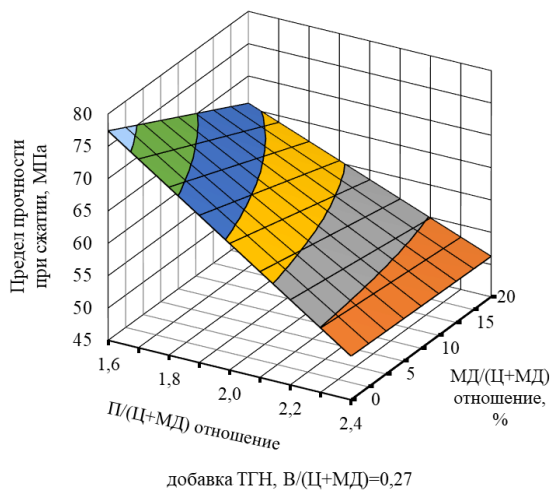
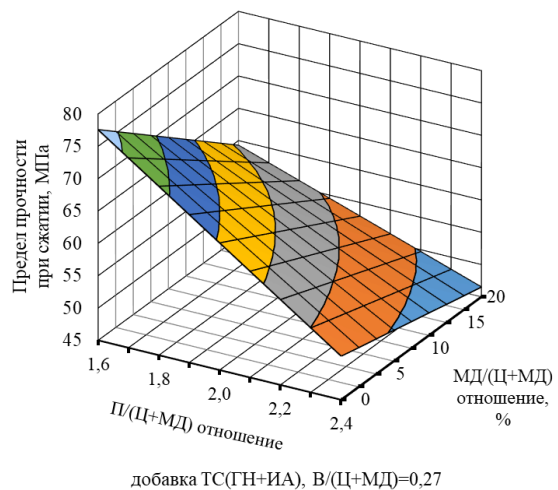


Рис. 1. Влияние расхода смешанного вяжущего на изменение предела прочности при сжатии самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов, модифицированных МД на основе глинистых и карбонатных пород (красной линией показан уровень предела прочности при сжатии для бетонов класса В50)

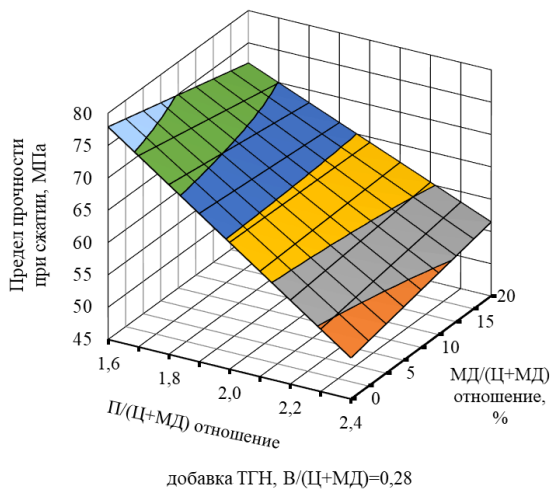
а)



б)



в)



г)

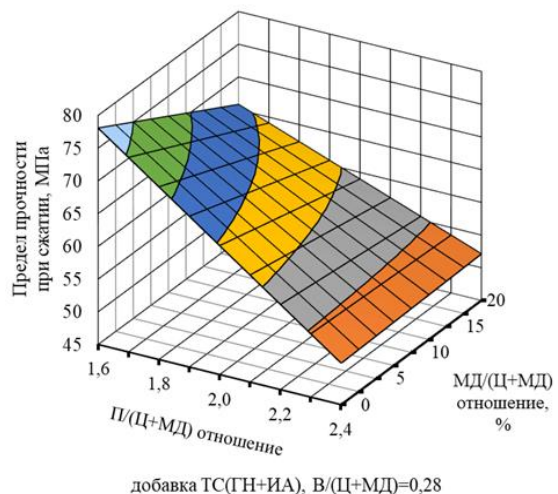
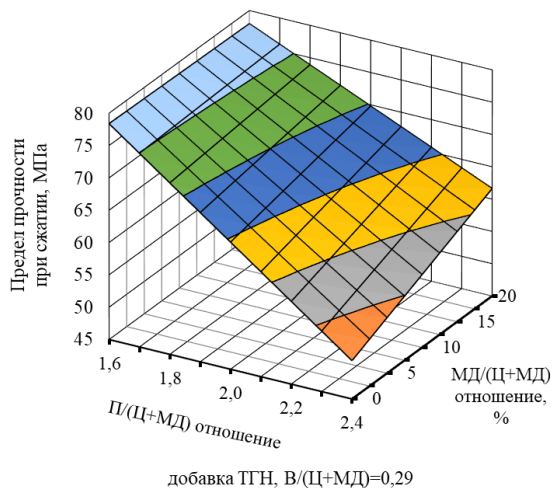


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии (28 суток) модифицированных цементных бетонов (а, в, д – добавка ГГН; б, г, е – добавка ТС(ГН+ИА)) в зависимости от $P/(C+MД)$ и $MД/(C+MД)$ отношений при содержании $V/(C+MД)$ отношениях: а, б – 0,27; в, г – 0,28; д, е – 0,29 (начало)

д)



е)

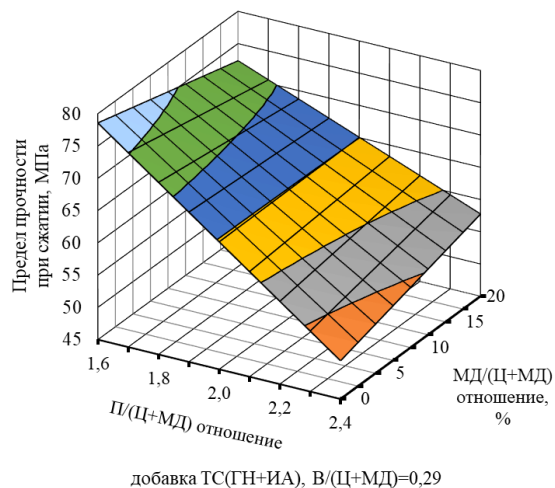


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии (28 суток) модифицированных цементных бетонов (а, в, д – добавка ТГН; б, г, е – добавка ТС(ГН+ИА)) в зависимости от П/(Ц+МД) и МД/(Ц+МД) отношений при содержании $V/(Ц+МД)$ отношениях: а, б – 0,27; в, г – 0,28; д, е – 0,29 (окончание)

бетонов №8 и 9 составляет, соответственно, 31 и 14%. Для немодифицированных цементных бетонов наблюдается практически монотонное повышение прочности при сжатии при увеличении расхода вяжущего с 650 до 810 $кг/м^3$ (рис. 1).

Оптимизация модифицированных разработанными добавками мелкозернистых бетонов при выставлении требований по классу по прочности на сжатие не ниже В50 показала (рис. 1), что данному уровню соответствуют составы, содержащие 9,1÷19,6% добавки ТГН или 10,7÷16,3% добавки ТС(ГН+ИА) от массы смешанного вяжущего. В отсутствие модифицирующих добавок класс В50 для мелкозернистых бетонных смесей обеспечивается при расходе цемента не ниже 737 $кг/м^3$.

Для выявления влияния на исследуемые характеристики вида МД (ТГН и ТС(ГН+ИА)), а также $V/(Ц+МД)$, $П/(Ц+МД)$ и $МД/(Ц+МД)$ отношений были определены коэффициенты полиномиальных уравнений, описывающих изменение предела прочности при сжатии в проектном возрасте, и построены графические зависимости, представленные на рис. 2:

$$\sigma_{сж.28(ТГН)} = 68,9 + 7,3 \cdot x_1 - 9,9 \cdot x_2 + 4,7 \cdot x_3 - 1,0 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,2 \cdot x_1 \cdot x_3 + 2,4 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (1)$$

$$\sigma_{сж.28(ТС(ГН+ИА))} = 66,7 + 7,8 \cdot x_1 - 9,5 \cdot x_2 + 2,5 \cdot x_3 - 1,0 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,8 \cdot x_1 \cdot x_3 + 2,8 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (2)$$

где x_1 – $V/(Ц+МД)$ отношение; x_2 – $П/(Ц+МД)$ отношение; x_3 – $МД/(Ц+МД)$.

Из анализа графических зависимостей выявлена (рис. 2, д, е) возможность повышения предела прочности при сжатии исследуемых бетонов за счет увеличения концентрации минеральных добавок ТГН и ТС(ГН+ИА) от 0 до 20% от массы цемента с по-

вышением $П/(Ц+МД)$ отношения при $V/(Ц+МД)=0,29$. Наибольшая эффективность от введения МД, достигающая 21,0 и 13,4% для, соответственно, ТГН и ТС(ГН+ИА) в данном случае выявлена для бетонов с отношением $П/(Ц+МД)$, равным 2,4. Снижение водовяжущего отношения до 0,27÷0,28 отн. ед., в целом, приводит к уменьшению эффекта от введения исследуемых минеральных добавок.

Выводы

По результатам проведенных исследований разработаны составы самоуплотняющихся мелкозернистых смесей с расходом цемента не более 650 $кг/м^3$ при использовании мелких природных песков Республики Мордовия (модуль крупности $M_{кр}=1,8$) и минеральных добавок (10÷20% от массы смешанного вяжущего) на основе термоактивированных полиминеральных глин, а также комплексов глинистых и карбонатных пород, бетоны на основе которых соответствуют классам по прочности при сжатии В40÷В55. Оптимальный уровень вводимых МД, обеспечивающих получение мелкозернистых бетонов с классом по прочности не ниже В50, варьируется, соответственно, в интервалах 9,1÷19,6 и 10,7÷16,3% для, соответственно, добавки ТГН и ТС(ГН+ИА).

Библиографический список

1. Клайн Дж. Глобальные изменения в производстве цемента в мировом масштабе / Дж. Клайн// «ALITinform». Международное аналитическое обозрение. – 2017. – №1. – С. 12-20.
2. Хозин В.Г. «Карбонатные» цементы низкой водопотребности / В.Г. Хозин, О.В. Хохряков, И.Р. Сибгатуллин И.Р. – М.: Монография. Издательство АСВ. – 2021. – 366 с.
3. Маскайкин, В. Н. Прогноз прироста запасов полезных ископаемых на территории Мордовии / В. Н.



- Маскайкин, А. А. Белов, А. В. Кирушин // Современные проблемы территориального развития. – 2017. – № 1. – С. 6. – EDN YTCSEUF.
4. Селяев В.П. Минерально-сырьевая база строительной отрасли Мордовии: практ. пособие. Ч. 1: Глины и суглинки / В.П. Селяев, А.А. Ямашкин, Л.И. Куприяшкина [и др.]. // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. – 2013. – 152 с.
5. 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.
6. Чернышов, Е.М. Нанотехнологические условия управления структурообразованием высокопрочных цементных бетонов / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких, О.В. Артамонова // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. Выпуск 9. – Воронеж, 2010. – С. 102-121.
7. Хузин, А. Ф. Физико-механические свойства высокопрочного бетона, модифицированного комплексной добавкой / А. Ф. Хузин, Р. А. Ибрагимов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – №4(34). – С. 317-321.
8. Каприелов, С.С. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива / С.С. Каприелов, В.Г. Батраков, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1999. – №6. – С. 6-10.
9. Селяев, В.П. Цементные композиции для высокопрочных бетонов / В.П. Селяев, А.Н. Лукин, А.В. Колотушкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 4-8.
10. Schulze S.E. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials / S.E. Schulze, R. Pierkes, J. Rickert // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. – Beijing, China. – 2015. – 693 p.
11. Castello L.R. Evolution of calcined clays soils as supplementary cementitious materials / L.R. Castello, H.J.F. Hernandes, K.L. Scrivener, M. Antonic // Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». – Madrid. – 2011. – P. 117.
12. Fernandez R. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite / R. Fernandez, F. Martizena, K.L. Scrivener // Cement and Concrete Research. – 2011. – № 41. – P. 113-122.
13. Рахимов Р.З. Влияние добавок в портландцемент прокаленной и молотой глины с содержанием 40% каолинита на прочность цементного камня / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, А.Р. Гайфуллин // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – №2. – С. 131-133.
14. Гайфуллин А.Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня / А.Р. Гайфуллин, Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 7 (59). – С. 66-73.
15. Низина Т.А. Влияние добавок на основе обожженной глины на прочность модифицированного цементного камня / Т.А. Низина, В.В. Володин, А.С. Балыков, Л.М. Ошкина, Д.И. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3 (40). – С. 58-67.
16. Низина Т.А. Влияние термоактивированных глинистых и карбонатных пород на фазовый состав и свойства модифицированного цементного камня / Т.А. Низина, А.С. Балыков, В.В. Володин, В.М. Кяшкин, А.А. Ерофеева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 8 (728). – С. 45-55.
17. Низина Т.А. Оценка кинетики твердения цементного камня, модифицированного добавками термоактивированной глины и карбонатных пород / Т.А. Низина, В.В. Володин, А.С. Балыков, Д.И. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 1 (46). – С. 86-94.
18. Прочность цементного камня с минеральными добавками на основе обожженной глины и карбонатных пород / А. С. Балыков, Т. А. Низина, В. В. Володин, Д. И. Коровкин // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 4(7). – С. 26-30. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10031. – EDN RJCINA.
19. Nizina, T.A., Balykov, A.S., Volodin, V.V., Kyashkin, V.M. Structure and properties of cement systems with additives of calcined clay and carbonate rocks. Magazine of Civil Engineering. 2022. 116(8). Article no. 11602. DOI: 10.34910/MCE.116.2.
20. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов. – ФАУФЦС, Москва. – 2016. – 100 с.
21. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – №10. – С. 4-6.
22. Физико-механические свойства самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с применением карбонатного наполнителя и мелкого природного кварцевого песка / Т. А. Низина, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин [и др.] // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора В.П. Селяева, Саранск, 03–05 декабря 2019 года / Ответственный редактор А.Л. Лазарев. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. – С. 192-200. – EDN WDBTXU.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 07.02.2023; одобрена после рецензирования 27.02.2023; принята к публикации 27.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 07.02.2023; approved after reviewing 27.02.2023; accepted for publication 27.02.2023.



Научная статья

УДК 624.04

ГРНТИ: 67: Строительство. Архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_1_69

К РАСЧЕТУ ПЛАСТИН МЕТОДОМ КОЛЛОКАЦИЙ

© Автор 2023

SPIN: 6657-0301

AuthorID: 1131557

ГОРБАЧЕВА Ольга Александровна

ассистент кафедры «Строительные материалы, конструкции и технологии»

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

инженер научно-исследовательской группы

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН

(Россия, Москва, e-mail: olga12zakirova@inbox.ru)

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможностей метода коллокаций для расчета пространственных конструкций. Предложен метод построения последовательности узлов коллокации на основе пропорции «золотого сечения» для прямоугольной пластины.

Ключевые слова: метод коллокаций; определение узлов коллокации; золотое сечение; невязка решения; строительные конструкции; строительная механика

Для цитирования: Горбачева О.А. К расчету пластин методом коллокаций // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 69-72. doi:10.51608/26867818_2023_1_69.

Original article

ABOUT THE COLLOCATION METHOD FOR TO THE CALCULATION OF PLATES

The Author(s) 2023

GORBACHEVA Olga Aleksandrovna

assistant of the department "Building materials, structures and technologies"

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin

(Russia, Saratov, olga12zakirova@inbox.ru)

engineer of the research group at NIISF RAASN (Russia, Moscow)

Annotation. The article is devoted to the study of the possibilities of the collocation method for the calculation of spatial structures. A method for constructing a sequence of collocation nodes based on the proportion of the "golden section" for a rectangular plate is proposed.

Keywords: collocation method, determination of collocation nodes, golden section, residual solution, building structures

For citation: Gorbacheva O.A. About the collocation method for to the calculation of plates // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 69-72. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_69.

В качестве примера рассмотрим упругую прямоугольную пластинку, жестко защемленную по контуру под действием равномерно распределенной нагрузки q_0 . Расчет выполним методом коллокаций, предложенный Л.В. Канторовичем [1]. Дифференциальное уравнение изгиба пластинки в безразмерном виде имеет вид

$$\nabla^4 u(\xi, \eta) = p(\xi, \eta) \quad (1)$$

где u – безразмерный прогиб, p – безразмерная поперечная нагрузка, ξ, η – безразмерные координаты. Граничные условия формулируем также в без-

размерном виде. Приближенное выражение прогиба $u_n^*(\xi, \eta)$ будем искать в виде $u_n^*(\xi, \eta) = \omega(\xi, \eta)K(A_n, \xi, \eta)$, $(n = 0, 1, 2, \dots)$ (2) где $\omega(\xi, \eta)$ – главная часть решения, удовлетворяющая однородным граничным условиям на контуре пластины, а $K(A_n, \xi, \eta)$ – корректирующая функция, которую выберем в виде полинома с неизвестными коэффициентами $K(A_n, \xi, \eta) = \sum A_n \xi^{2n} \eta^{2n}$, $(n = 0, 1, 2, \dots)$ (3)

Главную часть решения представляем в виде произведения прогибов упругих балок, построенных статическим методом В.З. Власова

$$\omega(\xi, \eta) = (2\xi^4 - 3\xi^3 + \xi)(2\eta^4 - 3\eta^3 + \eta) \quad (4)$$

Подставляя (2) в уравнение Софи Жермен (1) найдем невязку решения

$$F_n(A_n, \xi, \eta) = \nabla^4 u_n^* - p \quad (5)$$

В соответствии с методом коллокации, в срединной плоскости пластины необходимо выбрать систему узлов коллокации и в этих точках приравнять невязку решения нулю. В результате получим систему n линейных алгебраических уравнений, для определения коэффициентов A_n . Точность решения задачи зависит от количества и размещения узлов коллокации. В работах [2-6] приведены примеры решения линейных и нелинейных задач механики методом коллокаций с вариантами размещения узлов в виде регулярных и нерегулярных сеток.

В работе [7] при расчете нелинейно-упругой балки предложен вариант построения узлов коллокации с помощью «пропорции золотого сечения», который позволяет получить довольно точное решение при минимальных трудозатратах. Этот способ применим для двухмерной конструкции (пластины). Так как граничные условия и равномерно распределенная нагрузка симметричны в двух направлениях достаточно рассмотреть одну четверть пластинки в плане.

Для исследования влияния размещения узлов коллокаций на точность решения задачи на рис.1 представлены различные варианты расположения узлов: а – узлы расположены на диагонали пластины («золотое сечение» – первый отрезок от центра короткий, второй длинный), б – узлы расположены на диагонали пластины («золотое сечение» – первый отрезок от центра длинный, второй короткий), в – узлы расположены на горизонтальной оси («золотое сечение» – первый отрезок от центра выбирается коротким, второй длинным), г – узлы расположены на диагонали пластины равномерно.

Приравнивая в выбранных узлах коллокации невязку решения (5) нулю, получим варианты СЛАУ вида

$$\{\nabla^4 u_n^*(A_n, \xi_s, \eta_s) - p_0 = 0\} | s = A, B, C, D \quad (6)$$

(только узел А – первое приближение; узлы А, В – второе приближение; узлы А, В, С – третье приближение; узлы А, В, С, D – четвертое приближение), n – количество узлов коллокаций, ξ_s, η_s – координаты узлов коллокаций. Решая эти системы уравнений, найдем коэффициенты A_1, A_2, A_3, A_4 и, подставляя их в (2), получим искомую функцию прогиба пластинки. Далее по известным формулам определяем необходимые характеристики для определения напряженно деформированного состояния пластины.

В таблице 1 приведены значения прогиба в центре пластины при расчете пластины МК с различными схемами расположения узлов (рис. 1). Решение, полученное в [8], принимаем за эталонное.

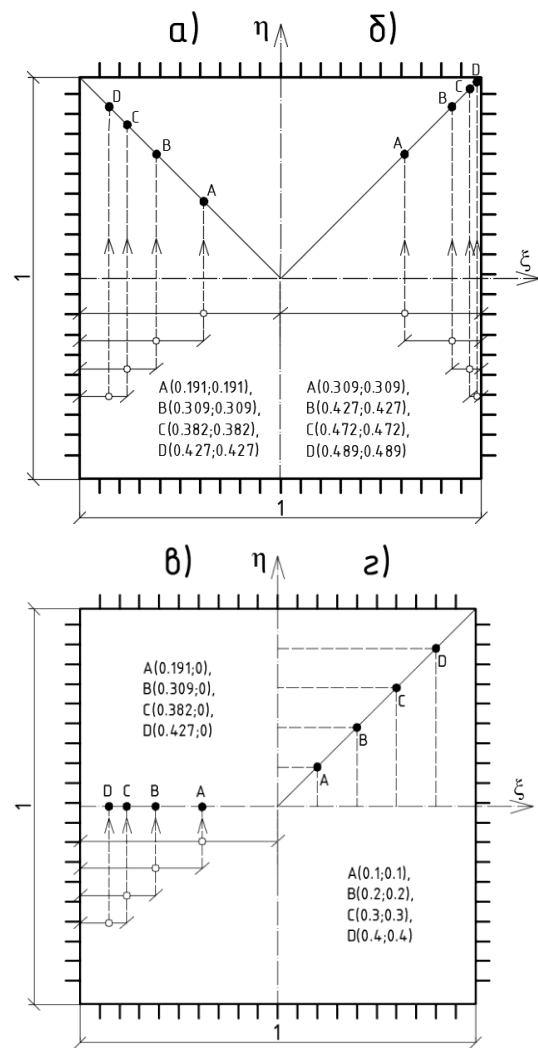


Рис. 1

Таблица 1

Схема расположения узлов коллокации	1 узел (А)	2 узла (А,В)	3 узла (А,В,С)	4 узла (А,В,С,Д)
а	$1.385 \cdot 10^{-3}$	$1.337 \cdot 10^{-3}$	$1.333 \cdot 10^{-3}$	$1.344 \cdot 10^{-3}$
б	$2.193 \cdot 10^{-3}$	$0.723 \cdot 10^{-3}$	$0.656 \cdot 10^{-3}$	$0.978 \cdot 10^{-3}$
в	$1.050 \cdot 10^{-3}$	$0.717 \cdot 10^{-3}$	$1.111 \cdot 10^{-3}$	-
г	$0.841 \cdot 10^{-3}$	$0.914 \cdot 10^{-3}$	$0.979 \cdot 10^{-3}$	$0.948 \cdot 10^{-3}$
Эталонное решение	$1.270 \cdot 10^{-3}$			

Результаты, представленные в этой таблице, позволяют сделать вывод, что в схеме «а» имеем быструю сходимость (достаточно второго приближения, с разницей с эталонным решением 5%), а в схемах «б», «в» и «г» отсутствует тенденция к сходимости решения.

На рис. 2 представлены значения прогиба и изгибающего момента в центре пластины при произвольном выборе двух узлов коллокации.

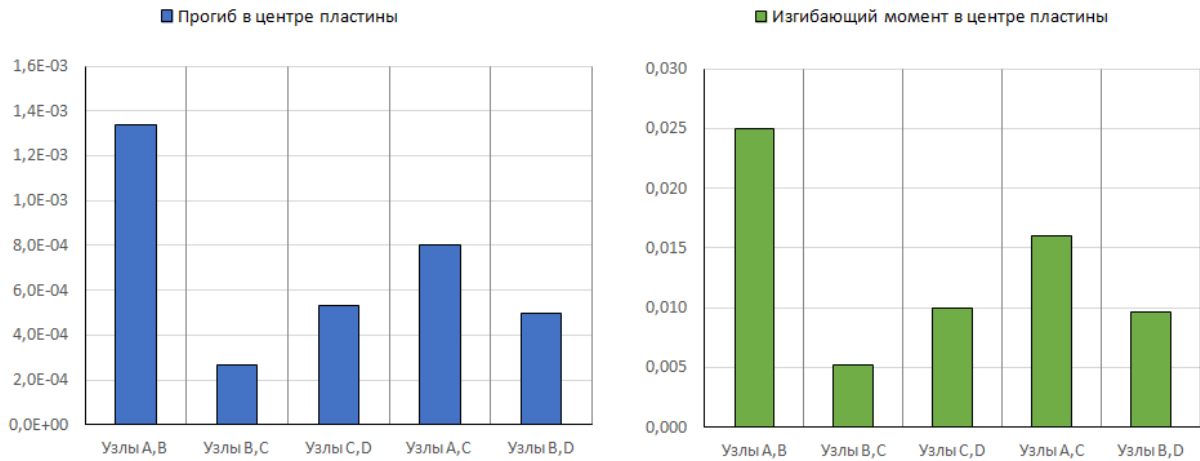


Рис. 2

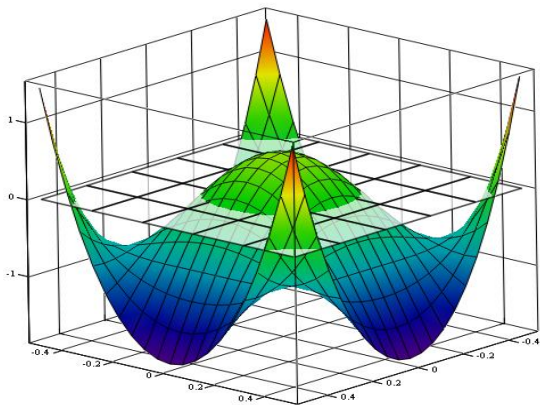


Рис. 3. Поверхность невязки решения (узел A)

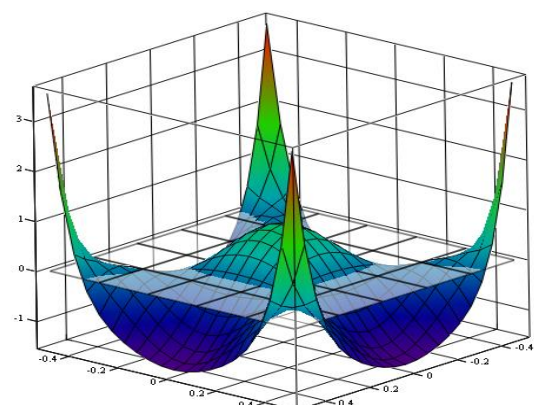


Рис. 4. Поверхность невязки решения (узлы A,B)

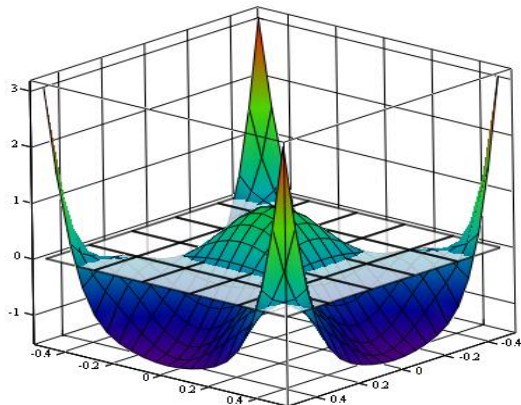


Рис. 5. Поверхность невязки решения (узлы A,B,C)

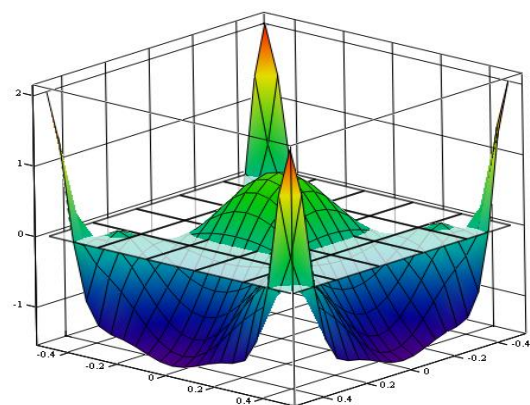


Рис. 6. Поверхность невязки решения (узлы A,B,C,D)

Анализ результатов рис. 2 позволяет сделать заключение, что при произвольном выборе положения двух узлов коллокации, решения в центре пластины, отличаются более чем на 30% от эталонного решения. Таким образом, предложенный последовательный метод поиска узлов с использованием пропорций «золотого сечения» дает сходимость решения только при последовательном поиске узлов, а произвольный выбор узлов (из предложенных на

приведенных выше схемах) не применим для решения задачи.

На рис. 3-6 показаны поверхности невязок решения при расчете пластины методом коллокаций при разных количествах узлов (1,2,3,4 узла).

При расчете пластины с предложенной системой узлов поверхность невязок имеет экстремумы решения по контуру пластины, а также по диагональной оси. Ввиду того, что угловые точки контура пла-



стины являются особыми точками контура их окрестности следует исключить из рассмотрения.

На Рис.3-6 можно заметить, что при увеличении узлов коллокации расположенных на диагоналях пластины со сгущением в околоконтурных зонах (добавление узлов С и D), пиковые значения невязки решения в углах и на контуре пластинки уменьшаются, а в зонах диагоналей пластины при увеличении числа узлов невязки решения стремятся к нулю.

Вывод. При расчете пластин методом коллокаций с использованием предложенной системы выбора узлов, основанной на пропорциях «золотого сечения», наблюдается быстрая сходимость (достаточно двух приближений при решении линейных задач) с инженерной точностью. Использование предложенной системы построения узлов коллокации приближает невязки решения к нулю по всей плоскости пластины и значительно уменьшает невязки в защемлении. При этом не требуется производить интегральные вычисления и решать обширные СЛАУ, что уменьшает трудозатраты при решении инженерных задач.

Библиографический список

1. Канторович, Л. В. Об одном методе приближенного решения дифференциальных уравнений в частных

производных / Л. В. Канторович // Доклады Академии наук СССР. – 1934. – Т. 2, № 9. – С. 532-536. – EDN ZJGGVR.

2. Рогалевич В.В. Коллокационные методы. Сущность. Примеры. / В.В. Рогалевич. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2001, – 298 с.

3. Букша, В. В. Расчет пластин и пологих оболочек коллокационными методами : монография / В. В. Букша, О. В. Машкин, В. В. Рогалевич ; В. В. Букша, О. В. Машкин, В. В. Рогалевич. – Екатеринбург : Изд-во АМБ, 2007. – 357 с. – ISBN 978-5-8057-0637-1. – EDN QJSXEJ.

4. Голушко, С. К. Разработка и применение метода коллокаций и наименьших невязок к решению задач механики анизотропных слоистых пластин / С. К. Голушко, С. В. Идимешев // Проблемы оптимизации сложных систем : Труды X международной азиатской школы-семинара, Булан-Соготту, 25 июля – 05 2014 года. Том 2. – Булан-Соготту: Национальный центр научно-технической информации, 2014. – С. 225-233. – EDN YSMDDN.

5. Исаев В.И., Шапеев В.П. Развитие метода коллокаций и наименьших квадратов // Труды ИММ УрО РАН. 2008. Т. 14, № 1. С. 41–60.

6. Петров В.В. Теория расчета пластин и оболочек / Петров В.В. – М.: АСВ. 2018. – 410 с.

7. Петров, В. В. К расчету конструкций из нелинейно-упругого материала методом коллокаций / В. В. Петров, О. А. Горбачева // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 4(19). – С. 51-54. – DOI 10.51608/26867818_2022_4_51. – EDN EVZRAY.

8. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. - М.: Физматгиз, 1963.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.02.2023; одобрена после рецензирования 27.02.2023; принята к публикации 27.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.02.2023; approved after reviewing 27.02.2023; accepted for publication 27.02.2023.



Научная статья
УДК 69.001.5
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_1_73

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В ЗЕЛЕНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

© Авторы 2023
SPIN: 6189-6354
AuthorID: 545662

ДЕРГУНОВА Анна Васильевна
кандидат технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва*
(Россия, Саранск, e-mail: anna19811981@mail.ru)

SPIN: 1721-2206
AuthorID: 653207

ПИКСАЙКИНА Анна Александровна
кандидат технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва*
(Россия, Саранск, e-mail: nastego@mail.ru)

SPIN: 4548-1040
AuthorID: 963385

АДЫЛХОДЖАЕВ Анвар Ишанович
доктор технических наук, профессор
Ташкентский государственный транспортный университет
(Узбекистан, Ташкент, e-mail: anvar_1950@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается проблема внедрения зеленого строительства. Приводятся основные экономические, социальные и экологические преимущества зеленого строительства. Внедрение зеленых технологий позволяет экономить затраты как при строительстве, так и эксплуатации зданий и сооружений, способствует снижению заболеваемости людей, росту производительности труда, снижению последствий потепления климата. Даются краткие пояснения и обоснование необходимости строительства зеленых зданий. Предложен один из методов оценки экономической эффективности зеленого строительства. В основу разработки расчетной формулы для определения сравнительной экономической эффективности зеленого строительства положен метод сравнения совокупных приведенных затрат с учетом фактора их одновременности и сфер приложения. Сделан вывод, что «зеленые» проекты поддерживают национальную экономику, создают новые рабочие места и улучшают инвестиционный имидж государства.

Ключевые слова: зеленое строительство; экономия затрат; глобальное потепление; энергоэффективность; экологичность; долговечность; производительность труда; строительные отходы; строительная отрасль

Для цитирования: Дергунова А.В., Пиксайкина А.А., Адылходжаев А.И. Экономические преимущества энергоэффективных технологий с применением местных сырьевых ресурсов в зеленом строительстве // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 73-79. doi:10.51608/26867818_2023_1_73.



**ECONOMIC ADVANTAGES OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES
WITH THE USE OF LOCAL RAW MATERIALS IN GREEN CONSTRUCTION**

© The Author(s) 2023

DERGUNOVA Anna Vasilyevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ogarev Mordovian State University
(Russia, Saransk, e-mail: anna19811981@mail.ru)

PIKSAYKINA Anna Aleksandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ogarev Mordovian State University
(Russia, Saransk, e-mail: nastego@mail.ru)

ADYLKHODJAEV Anvar Isanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Tashkent State Transport University
(Russia, Tashkent, e-mail: anvar_1950@mail.ru)

Annotation. The article deals with the problem of the introduction of green construction. The main economic, social and environmental advantages of green construction are given. The introduction of green technologies allows you to save costs both in the construction and operation of buildings and structures, helps to reduce the incidence of people, increase labor productivity, reduce the effects of climate warming. Brief explanations and justification of the need for the construction of green buildings are given. One of the methods of assessing the economic efficiency of green construction is proposed. The basis for the development of a calculation formula for determining the comparative economic efficiency of green construction is based on the method of comparing the total reduced costs, considering the factor of their different times and areas of application. It is concluded that "green" projects support the national economy, create new jobs and improve the investment image of the state.

Keywords: green construction; cost savings; global warming; energy efficiency; environmental friendliness; durability; labor productivity; construction waste; construction sphere

For citation: Dergunova A.V., Piksaykina A.A., Adylkhodjaev A.I. Economic advantages of energy-efficient technologies with the use of local raw materials in green construction // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 73-79. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_73.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется энергоэффективным технологиям зеленого строительства. Существует множество причин для внедрения зеленого строительства, связанных с экономическими, эксплуатационными и экологическими преимуществами.

1. Внедрение зеленых технологий позволяет экономить затраты:

- *Снижение затрат на инфраструктуру*

Существенная экономия на первоначальных затратах часто может быть достигнута с помощью зеленого строительства за счет различий в том, как создается инфраструктура. Например, инновационные системы фильтрации ливневой воды могут уменьшить или устранить необходимость в ливневой канализации и водоемах для сбора ливневой воды; а повышение плотности застройки на участке может уменьшить площадь заасфальтированной территории и длину канализационных и инженерных сетей. Для некоторых проектов экономия на инфраструк-

туре настолько значительна, что они могут компенсировать часть других более высоких затрат на зеленое строительство.

- *Снижение расхода материалов и экономия на утилизации строительных отходов*

Утилизация строительных отходов когда-то была почти незначительной составляющей затрат на строительство, но во многих регионах она стала существенной. Поскольку объем строительных отходов, как правило, пропорционален размеру здания, небольшие здания также производят меньше строительных отходов. Сокращение строительных отходов за счет оптимизации размеров здания, а разделение и переработка отходов могут значительно снизить эти затраты.

2. Зеленое строительство позволяет снизить эксплуатационные расходы:

- *В энергоэффективных зданиях более низкие затраты на электроэнергию*

Снижение энергопотребления часто является единственным наиболее очевидным экономиче-



ским преимуществом зеленых зданий. Минимизация энергопотребления является приоритетом почти во всех зеленых зданиях – от частных домов до многоэтажных строений. Зеленые здания обычно потребляют менее половины энергии, чем их обычные аналоги, а некоторые зеленые здания потребляют менее четверти энергии. Большая часть экономии достигается за счет улучшенной теплозащиты здания и более энергоэффективного оборудования, но в случае проектов жилых домов, простое создание малоэтажных зданий может сэкономить огромное количество энергии. В дополнение к снижению энергопотребления, многие направления зеленого проектирования снижают спрос на энергию, что оказывает огромное влияние на затраты на электроэнергию в промышленных зданиях. Если стоимость электроэнергии продолжит расти такими же темпами, экономия энергии станет еще большей движущей силой зеленого строительства.

- Более низкий расход воды

Многие эксперты по ресурсам все больше обеспокоены запасами пресной воды, чем обеспеченностью энергией в ближайшие десятилетия. Благодаря сочетанию стратегий экономии воды многие зеленые здания потребляют почти на четверть ее меньше, чем обычные здания. В дополнение к экономии воды, некоторые зеленые здания собирают воду со своих крыш или применяют системы сбора и очистки сточных вод для использования в ландшафтном орошении. Очень высокие затраты на воду или высокая плата за подключение могут быть мотивацией для внедрения таких решений сокращения водопотребления в строительстве.

- Высокая долговечность и увеличение межремонтных сроков службы

Очень важной, но часто упускаемой из виду особенностью зеленых зданий является долговечность. Долговечные здания обходятся дешевле в эксплуатации, поскольку ремонт и замена вышедших из строя строительных конструкций происходят намного реже. Хотя долговечные строительные материалы, конструкции и оборудование могут стоить дороже, однако затраты на них в течение срока эксплуатации часто ниже, чем у обычных изделий, потому что они служат дольше и требуют меньшего количества ремонтов.

3. Другие экономические выгоды зеленого строительства

- Более высокая стоимость недвижимости, быстрая сдача в аренду или продажа

При использовании любой приносящей доход (арендуемой) недвижимости снижение эксплуатационных расходов может повысить стоимость недвижимости. Это происходит потому, что более низкие эксплуатационные расходы увеличивают чистый операционный доход. Зеленые здания, будь то офис-

ные помещения или жилая недвижимость, часто сдаются в аренду быстрее, чем обычные здания, и часто за более высокую цену. Причины этого кроются в средствах массовой информации, которые распространяют маркетинговые материалы, рекламирующие низкие эксплуатационные расходы или повышенный комфорт, а также отзывы жильцов и других пользователей о таких зданиях. Зеленые здания часто продаются быстрее, чем их обычные аналоги. Более быстрые продажи означают более низкие текущие расходы и более низкие проценты по кредитам, что увеличивает конечную прибыль.

- Снижение риска ответственности

Судебные иски по поводу плесени в зданиях и синдрома «больного здания» становятся все более распространенными. Зеленые здания, спроектированные с использованием самых современных достижений в области строительной науки, в частности контроля влажности, представляют гораздо меньший риск судебных исков, связанных с этими проблемами.

Многих собственников недвижимости удивит, если они узнают, что проблемы, связанные с плесенью, все чаще исключаются из страхового покрытия, и, безусловно, существует вероятность того, что держатели ипотечных кредитов и кредиторы коммерческой недвижимости начнут требовать какой-либо сертификации контроля качества, касающейся долговечности.

- Позитивный общественный имидж и новые возможности для бизнеса

Позитивный общественный имидж, который может быть реализован благодаря приверженности здоровым, экологически ответственным зданиям, может быть чрезвычайно полезным.

Специализация на экологичном проектировании и строительстве зеленых зданий оказалась прибыльной для многих инвесторов. По мере распространения слухов об экономической эффективности этих зданий, многие эксперты по экологичному строительству получили новые возможности. Хотя эти преимущества трудно измерить, они могут быть существенными.

4. Преимущества зеленого строительства для здоровья людей и повышения производительности труда

- Улучшение здоровья и повышенный комфорт и рост производительности труда работников

Благодаря используемым материалам, усилению контроля влажности, мерам по предотвращению загрязнения воздуха путем вентиляции помещений, зеленые здания являются более «здоровыми». Люди проводят 85-95 % своего времени в помещении, поэтому качество внутренней среды чрезвычайно важно. Действительно, во многих секторах



экономики обеспечение здорового образа жизни и оптимального температурно-влажностного режима на рабочих местах, вероятно, станет единственной наиболее важной движущей силой перехода к экологичному строительству.

Меры, которые уменьшают сквозняки, сводят к минимуму разницу температур от пола до потолка, снижение и контроль шума повышают комфорт в зданиях. В коммерческих и институциональных зданиях управляемость отдельными рабочими пространствами (особенность многих зеленых зданий) учитывает тот факт, что у разных людей разные потребности, когда дело доходит до температуры, вентиляции и уровня освещенности. Люди часто получают психологическое удовлетворение просто от осознания того, что они контролируют свою рабочую среду. Экономические выгоды от повышения производительности труда огромны. Например, увеличение производительности труда всего на 1 % компенсирует общие затраты на энергию в обычном здании. Исследования показали повышение производительности труда в зеленых зданиях, начиная от 0,4% до 18 %. По мере того, как все больше компаний начинают осознавать ценность повышения производительности труда, это, вероятно, станет все более важной движущей силой зеленого строительства.

5. Преимущества зеленого строительства для общества

- *Снижение потребления коммунальных услуг*

Многие зеленые здания имеют более низкие потребности в воде и производят меньше сточных вод, чем обычные здания, что снижает спрос на коммунальные услуги. В районах, где часто бывают засухи или где коммунальные службы водоснабжения уже работают на полную мощность, это преимущество зеленого строительства может быть значительным. Даже когда пропускная способность коммуникаций не является проблемой, использование энергии и химических веществ на очистных сооружениях пропорционально объему очистки, поэтому сокращение объемов сточных вод является экологически привлекательным.

- *Уменьшение эрозии почвы и ливневого стока*

Некоторые из наиболее частных воздействий зданий на окружающую среду – это эрозия почвы, возникающая во время строительства, и увеличение стока ливневой воды, возникающее в результате создания непроницаемой поверхности при асфальтировании дорог и подъездных путей. Правильная планировка участка, ландшафтный дизайн и другие особенности зеленого строительства могут значительно уменьшить обе эти проблемы.

- *Сокращение использования автомобилей, пробок на дорогах*

Экологичное строительство должно выходить за рамки отдельного здания и учитывать, насколько хорошо это здание интегрировано в инфраструктуру сообщества и региональных автомобильных дорог. Первоочередной задачей должно быть уменьшение зависимости от автомобилей. Объединение зданий в кластеры, совмещение жилой и коммерческой недвижимости, соединение зданий переходами, строительство в шаговой доступности трамвайных и автобусных маршрутов, а также предоставление удобств и стимулов для поощрения поездок на работу другими способами, помимо частных автомобилей, – все это может способствовать уменьшению использования автомобилей и пробок на дорогах. Уменьшение заторов на дорогах в районе улучшает качество жизни, повышает производительность труда (так как люди проводят меньше времени в пробках) и снижает загрязнение воздуха.

- *Поддержка местного сельского хозяйства*

Ключевой особенностью зеленого развития является сохранение открытого пространства – как для пользы экосистемы, так и для защиты сельскохозяйственных угодий. Часто дома расположены на более крутом рельефе, так что более ровная земля, наиболее подходящая для сельского хозяйства, может оставаться в продуктивном использовании.

6. Экологические преимущества зеленого строительства

- *Снижение последствий глобального потепления*

В связи с тем, что «зеленые» здания потребляют меньше энергии и выделяют меньше углекислого газа в процессе их эксплуатации, они в меньшей степени влияют на глобальное потепление, которое, безусловно, является одной из величайших экологических угроз, с которыми мы сталкиваемся сегодня. Важно признать, что последствия изменения климата носят глобальный характер. То, что мы делаем в своем государстве, влияет на мировой климат, и, наоборот, все, что мы делаем для сокращения выбросов парниковых газов, приводит к глобальным выгодам.

- *Сведенное к минимуму разрушение озонового слоя*

Зеленые здания сводят к минимуму использование и выброс озоноразрушающих веществ. Следует учесть, что в случае хладагентов часто необходимо учитывать компромисс между разрушением озонового слоя и потенциалом глобального потепления. С реконструкцией существующих зданий, могут быть приняты меры по улавливанию и уничтожению озоноразрушающих хладагентов и пенообразователей.

- *Снижение токсичных выбросов*

Производство некоторых строительных материалов, в том числе некоторых видов пластика, при-



водит к выбросам токсичных загрязнителей воздуха. Те же самые материалы также могут выделять токсины, когда они выбрасываются на свалку или сжигаются после окончания срока использования. Приверженность к экологичным строительным материалам – это обязательство учитывать эти проблемы. Натуральные строительные материалы часто представляют наименьший экологический риск.

- Снижение энергопотребления и других воздействий при транспортировке материалов

Чем на большее расстояние необходимо доставить строительные материалы и продукцию (и чем на большее расстояние необходимо доставить сырье при производстве этих готовых товаров), тем больше потребление энергии и воздействие на окружающую среду. При экологичном строительстве часто приходится выбирать больше местных материалов.

- Уменьшение городских островов тепла

Остров тепла – зона повышенных температур над городами и промышленными районами, образующаяся в результате повышенного выброса тепловой энергии, в результате чего образуются тепловые отходы. Как правило, наблюдается в крупных городах, где температура воздуха в течение всего года на несколько градусов выше, чем на прилегающих территориях. В зеленом строительстве используются отражающие и зеленые крыши, которые приводят к снижению эффекта городского острова тепла.

Методы

Оценка экономической эффективности зеленого строительства имеет свои особенности. Очевидно, что все дополнительные инновационные конструкции и оборудование, используемые при зеленом строительстве, значительно повышают единовременные затраты, т.е. затраты на проектирование и возведение здания. Однако, ориентироваться при оценке экономической эффективности строительства только на стоимость самого строительства и не учитывать экономию будущих эксплуатационных расходов на содержание здания – это повторять ошибку того скупого, который, как известно, платит дважды. Поэтому, наиболее целесообразно для определения экономической эффективности зданий применять такой показатель, как приведенные затраты. Приведенные затраты – это затраты на строительство здания плюс затраты на его эксплуатацию за некоторый период времени (обычно это период окупаемости расходов на строительство).

В основу разработки расчетной формулы для определения сравнительной экономической эффективности зеленого строительства положен метод сравнения совокупных приведенных затрат с учетом фактора их одновременности и сфер приложения. При этом учитываются затраты в сфере создания и поставки экологически чистых строительных матери-

алов и конструкций (сфера I – поставщик), в сфере возведения энергоэффективных строительных объектов (сфера II – подрядчик) и в сфере эксплуатации зданий и сооружений (сфера III – заказчик). [2]

Основываясь на положениях типовой методики определения экономической эффективности капитальных вложений, в каждой из рассматриваемых сфер определяются приведенные затраты, представляющие сумму себестоимости и капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативом эффективности:

для сферы I приведенные затраты определяются по формуле [17]

$$Z_1 = C_m + E_n * K_m, \quad (1)$$

где C_m – себестоимость экологически чистых строительных материалов и конструкций; K_m – капитальные вложения в организацию их производства; E_n – норматив эффективности капитальных вложений;

для сферы II приведенные затраты определяются по формуле [17]

$$Z_{II} = C_d + E_n * \Phi \quad (2)$$

где C_d – себестоимость экологически чистых строительных конструкций; Φ – капитальные вложения в основные фонды строительных организаций;

для сферы III приведенные затраты определяются по формуле [17]

$$Z_{III} = C_{co} + E_n * K_3, \quad (3)$$

где C_{co} – себестоимость продукции предприятия в части амортизации зданий и сооружений; K_3 – капитальные вложения в ремонтную базу и средства защиты, используемые при эксплуатации.

Кроме того, в сфере III должны учитываться затраты, осуществляемые при эксплуатации зданий и сооружений.

Результаты

Из данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что дополнительные расходы на возведение зеленого здания окупаются примерно за

Экономическая эффективность использования зеленых технологий в строительстве (по данным Capital E Analysis)

Баланс удельных расходов на строительство и эксплуатацию зеленого здания		
Статья расходов	Удорожание, руб./ м ²	Экономия за 20 лет эксплуатации, руб./ м ²
Разница в удельных сметных стоимостях строительства Зеленого и обычного зданий	2 000	–
Энергоснабжение	–	3 000
Канализация, отходы и выбросы	–	650
Водоснабжение	–	270
Техобслуживание и ремонт	–	4 600
ИТОГО	2 000	8 520
ВСЕГО		6 520



первых шесть лет эксплуатации здания, принося в дальнейшем немалую прибыль. А для экоустойчивых зданий, плюс к указанному экономическому эффекту, следует добавить значительное улучшение физиологических и социальных аспектов проживания в таких зданиях.

Выводы

Идея "зеленого" строительства имеет много преимуществ для окружающей среды, благосостояния общества и здоровья каждого человека. Его широкое внедрение может решить ряд глобальных проблем, таких как изменение климата и нехватка ресурсов. Эксплуатация экологически чистых зданий также более выгодна с экономической точки зрения: это позволяет значительно снизить затраты на водоснабжение, тепло- и электроснабжение.

Девелоперы также проявляют интерес к этой концепции - стоимость экологически чистых зданий на рынке недвижимости постоянно растет. На уровне всего государства экологическое строительство также является приоритетом: оно стимулирует развитие новых технологий и вместе с увеличением экономических показателей повышает показатели качества жизни населения.

«Зеленые» проекты поддерживают национальную экономику, создают новые рабочие места и улучшают инвестиционный имидж государства.

Все «зеленые» технологии, а не только строительство, хорошо приживаются там, где в общественном сознании уже произошли позитивные изменения. Поэтому одной из главных задач современного "зеленого" строительства можно назвать создание условий, которые подтолкнут граждан к более экологичному поведению.

Библиографический список

1. Табунщиков Ю. А. «Зеленые здания» - нужны ли архитектору и инженеру новые знания // АВОК. 2009. №7. С. 4-8. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4417
2. Есин, Н. А. Зеленое строительство / Н. А. Есин, Т. И. Тулякова, А. А. Истомин // European Science. – 2017. – № 5(27). – С. 40-43. – EDN YMWSFD.
3. Дергунова, А. В. Экологические, эстетические и экономические преимущества пористых тротуаров / А. В. Дергунова, А. А. Пиксайкина, М. А. Конин // Эффективные строительные конструкции: теория и практика : сборник статей XIX Международной научно-технической конференции, Пенза, 28–29 марта 2019 года / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2019. – С. 49-53. – EDN ZRNBHP.
4. Васильев Г. П. «Зеленое» строительство как инструмент экономии первичного топлива // Энергосбережение. 2011. №8. С. 26-32. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5105.

5. Табунщиков, Ю. А. Критерии энергоэффективности в "зеленом" строительстве / Ю. А. Табунщиков, А. Л. Наумов, Ю. В. Миллер // Энергосбережение. – 2012. – № 1. – С. 1-9. – EDN UMRNON.

6. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – Москва : Информационно-издательское предприятие "АВОК-ПРЕСС", 2003. – 200 с. – ISBN 5-94533-007-8. – EDN SXQNTF.

7. Dergunova A., Piksaykina A., Konin M. Energy Efficiency of Buildings for Various Purposes // Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering. 2019. № 4(3). P. 34-38. URL:<http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=601&doi=10.11648/j.jeece.20190403.11>.

8. Наумов А. Л., Бродач М. М. Ресурсосбережение в системах водоснабжения и водоотведения // Сантехника. 2012. №1. С. 14-20.

9. Бенуж А.А. Эколого-экономическая модель жизненного цикла здания на основе концепции «Зеленого» строительства : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2013. 24 с.

10. Мишланова М.Ю., Рябов В.А. Критерии оценки эколого-экономического зеленого строительства // Сметно-договорная работа в строительстве. 2015. №3. С.31-34.

11. Астафьева О.Е. Снижение негативного воздействия строительства на экосистемы за счет сертификации по «зеленым» стандартам // Архитектура и строительство России, 2015. № 2. С. 15-21.

12. Иванова, К. А., «Зеленые» стандарты в строительстве / К. А. Иванова, А.С. Журенкова // Молодой ученый. 2016. № 9.1 (113.1). С. 31-34. URL: <https://moluch.ru/archive/113/29050>.

13. Рогачева, Я. А. Обоснование сущности и критериев "зеленого строительства" / Я. А. Рогачева // Современное строительство и архитектура. – 2016. – № 1(01). – С. 47-49. – DOI 10.18454/mca.2016.01.8. – EDN VVYVMP.

14. Экологическое строительство в России // 2011-2013 АНО «Национальное Агентство Устойчивого Развития». URL: <http://green-agency.ru/ekologicheskoe-stroitelstvo-v-rossii/>

15. Кошкина, С. Ю. "Зеленое" строительство как главный фактор повышения качества окружающей среды и здоровья человека / С. Ю. Кошкина, О. А. Корчагина, Е. С. Воронкова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3(47). – С. 150-158. – EDN REZCPV.

16. Свидерский И. Эволюция строительства: от энергоэффективного, через зеленое, к экоустойчивому (2014). URL: <http://acadomia.ru/articles/inzhenernye-kommunikatsii/the-evolution-of-construction-from-energy-efficient-through-the-green-sustainable/>

17. Дергунова, А. В. Определение экономической эффективности проектных решений защиты от биоповреждений / А. В. Дергунова, А. Д. Богатов, В. Т. Ерофеев // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве : материалы Третьей Международной научно-технической конференции, Саранск, 01 января – 31 2009 года / Российская академия архитектуры и строительных наук, Мордовский университет; Ответственный редактор Н. И. Карпенко. – Саранск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального об-



разования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва", 2009. – С. 277-281. – EDN SIGNDL.

18. The Effectiveness of Materials Different with Regard to Increasing the Durability / V. Erofeev, A. Dergunova, A. Piksaikina [et al.] // MATEC Web of Conferences, Tyumen, 27–29 апреля 2016 года. Vol. 73. – Tyumen: EDP Sciences, 2016. – P. 04021. – DOI 10.1051/mateconf/20167304021. – EDN WVVJSH.

19. Dergunova Anna, Piksaykina Anna, Konin Maksim Energy Efficiency of Buildings for Various Purposes // Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering. 2019. New York, U.S.A. 4(3) p. 34-38. DOI 10.11648/j.jeece.20190403.11. URL <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paper-info?journalid=601&doi=10.11648/j.jeece.20190403.11>

20. Fuladlu, Kamyar Environmental parameters for campus outdoor space: a microclimate analysis of the eastern mediterranean university (emu) campus // Journal of Green Building (2021) 16 (3): 217–236. <https://doi.org/10.3992/jgb.16.3.217>

21. Tian, Wei; Zhu, Chuanqi; de Wilde, Pieter; Shi, Jiaxin; Yin, Baoquan Sensitivity analysis of building energy performance based on polynomial chaos expansion // Journal of Green Building (2020) 15 (4): 173–183. <https://doi.org/10.3992/jgb.15.4.173>

22. Tian, Wei; Zhu, Chuanqi; Liu, Yunliang; Yin, Baoquan; Shi, Jiaxin Energy assessment of urban buildings based on geographic information system // Journal of Green Building (2020) 15 (3): 83–93. <https://doi.org/10.3992/jgb.15.3.83>

23. Butters, Chris; Cheshmehzangi, Ali; Sassi, Paola Cities, energy and climate: Seven reasons to question the dense high-rise city // Journal of Green Building (2020) 15 (3): 197–214. <https://doi.org/10.3992/jgb.15.3.197>

24. Scofield, JH Green building technology // Environmental Science & Technology. 2000, 34, 21, 448A <https://doi.org/10.1021/es003471u>

25. Fezi, Bogdan Andrei Health engaged architecture in the context of COVID-19 // Journal of Green Building (2020) 15 (2): 185–212. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.15.2.185>

26. Lee, Jaewook; Boubekri, Mohamed Impact of daylight exposure on health, well-being and sleep of office workers based on actigraphy, surveys, and computer simulation //

Journal of Green Building (2020) 15 (4): 19–42. <https://doi.org/10.3992/jgb.15.4.19>

27. Anghel, AnamariaAndreea; Mohora, Irina; Preda (Hapenciuc), Alma-Dia; Giurea, Diana; Frigura-Iliasa, Flaviu Mihai Environmental tendencies in modular green installations // Journal of Green Building (2019) 14 (4): 195–221. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.14.4.195>

28. Bazzocchi, Frida; Ticci, Sara; Di Naso, Vincenzo; Rocchetti, Andrea Low-cost and non-invasive energy recovery techniques for public residential buildings made with great panel structures in italy Journal of Green Building (2019) 14 (3): 23–46. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.14.3.23>

29. Taemthong, Wannawit; Chaisaard, Nattasit An analysis of green building costs using a minimum cost concept // Journal of Green Building (2019) 14 (1): 53–78. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.14.1.53>

30. Wang, Jie; Pan, Wei Influencing parameters of the life cycle cost-energy relationship of buildings // Journal of Green Building (2018) 13 (4): 103–121. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.13.4.103>

31. Sumanasekara, S. A. S. L.; Jayasinghe, C. Alternative techniques to improve indoor environmental quality // Journal of Green Building (2018) 13 (4): 19–38. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.13.4.19>

32. De Luca, P.; Carbone, I.; Nagy, J. B. Green building materials: a review of state of the art studies of innovative materials // Journal of Green Building (2017) 12 (4): 141–161. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.4.141>

33. Jafari, Amirhosein; Valentin, Vanessa Sustainable impact of building energy retrofit measures // Journal of Green Building (2017) 12 (3): 69–84. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.3.69>

34. Khoshbakht, Maryam; Gou, Zhonghua; Dupre, Karine; Altan, Hasim Thermal environments of an office building with double skin facade // Journal of Green Building (2017) 12 (3): 3–22. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.3.3>

35. Susie Ruqun Wu; Suk-Kyung Kim; Hogeun Park; Peilei Fan; ArikaLigmann-Zielinska; Jiquan Chen How do green buildings communicate green design to building users? a survey study of a leed-certified building // Journal of Green Building (2017) 12 (3): 85–100. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.3.85>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 16.01.2023; одобрена после рецензирования 21.02.2023; принята к публикации 21.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 16.01.2023; approved after reviewing 21.02.2023; accepted for publication 21.02.2023.



Научная статья
УДК 691.41
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
BAK: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_1_80

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ И ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

© Авторы 2023
SPIN: 3981-3286
AuthorID: 878855
ORCID: 0000-0002-7064-7235

ЗАКРЕВСКАЯ Любовь Владимировна
кандидат технических наук, доцент
*Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*
(Россия, Владимир, e-mail: lvzak@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-1171-4119

НИКОЛАЕВА Ксения Алексеевна
студент
*Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*
(Россия, Владимир, e-mail: ksysha.nickolaeva@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-7391-1396

БАРУЗДИН Александр Андреевич
аспирант
*Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*
(Россия, Владимир, e-mail: Baruzdin98@bk.ru)

Аннотация. Объектом исследования являются строительные материалы для зданий, подлежащих реставрации. Были проведены лабораторные исследования, в ходе которых были определены физико-механические свойства исследуемых материалов: плотность, прочность на сжатие, влажность. Рентгенофазовый анализ и сканирующая электронная микроскопия дают представление о химическом составе и микроструктуре материалов. В ходе работ были разработаны реставрационные составы для кирпича и декоративных бетонных элементов (балясин, карнизов). В процессе лабораторных исследований был получен композиционный материал для реставрации кирпичной кладки и композиция из фибробетона для реставрации архитектурных элементов здания с добавлением асбестовых волокон, который обладает следующими характеристиками: плотность сухого вещества 1,83 г/см³, прочность на сжатие 45,2 МПа, эластичность модуль упругости 0,95 МПа, теплопроводность 0,65 Вт/(м · °С), морозостойкость F75. Асбестовые волокна являются оптимальным армирующим элементом фибробетона, составы с добавлением хризотила имеют прочную энергетическую связь вдоль волокон, что обеспечивает большую прочность на разрыв. Полученный материал устойчив к химическим воздействиям, так как хризотил, в отличие от многих других наполнителей, не растворяется в щелочной среде. Поверхностно-активное вещество Р-17 в составах полученных композитных материалов способствует оптимизации их физико-механических и эксплуатационных свойств, а также отвечает современным требованиям экологической безопасности.

Ключевые слова: строительные материалы; реставрация; кирпичная кладка; минеральный раствор; фибробетон; хризотил-асбест; физико-механические характеристики; поверхностно-активные вещества

Для цитирования: Закревская Л.В., Николаева К.А., Баруздин А.А. Композиционные материалы для кирпичной кладки и декоративных элементов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 80-85. doi:10.51608/26867818_2023_1_80.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

COMPOSITES FOR BRICKLAYING AND DECORATIVE ELEMENTS

© The Author(s) 2023

ZAKREVSKAYA Lyubov Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov
(Russia, Vladimir, e-mail: lvzak@mail.ru)

NIKOLAEVA Ksenia Alekseevna

Student
Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov
(Russia, Vladimir, e-mail: ksysha.nickolaeva@yandex.ru)

BARUZDIN Alexander Andreevich

PhD Candidate
Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov
(Russia, Vladimir, e-mail: Baruzdin98@bk.ru)

Annotation. The object of the study is the building materials of restoration constructions. Laboratory studies were carried out, during which the physical and mechanical properties of the studied materials were determined: density, compressive strength, humidity. X-ray phase analysis and scanning electron microscopy give an idea of the chemical composition and microstructure of materials. During the work, the compositions of restoration compositions for bricks and decorative concrete elements (balusters, cornices) were developed. In the course of laboratory studies, a composite for the restoration of brickwork and a composition of fiber concrete for the restoration of architectural elements of a building with the addition of asbestos fibers was obtained, which has the following characteristics: dry matter density of 1.83 g/cm³, compressive strength of 45.2 MPa, elastic modulus of 0.95 MPa, thermal conductivity of 0.65 W/(m·C), frost resistance F75. Asbestos fibers are the optimal reinforcing element of fiber concrete, composites with the addition of chrysotile have a strong energy bond along the fibers, which provides greater tensile strength. The resulting material is resistant to chemical influences as chrysotile, unlike many other fillers, does not dissolve in an alkaline environment. Surfactant P-17 in the compositions of the obtained composites contributes to the optimization of their physical, mechanical and operational properties, and also meets modern requirements for environmental safety.

Keywords: restoration; brickwork; mineral mortar; fiber concrete; chrysotile-asbestos; physical and mechanical characteristics; surfactants

For citation: Zakrevskaya L.V., Nikolaeva K.A., Baruzdin A.A. Composites for bricklaying and decorative elements // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 80-85. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_1_80.

Введение

Существует множество исследований в области реставрации каменной кладки, в которых подробно описываются различные методы ее восстановления [1-5]. Одним из наиболее эффективных методов является метод докомпоновки кирпичной кладки. Общеизвестно, что при реставрации памятников архитектуры следует использовать материалы, сходные по составу, физико-механическим свойствам с исходными материалами. Кроме того, во время реставрации важно сохранить технику кладки, которая использовалась при строительстве реконструируемого сооружения. Согласно исследованиям [6-7], метод докомпоновки кирпичной кладки позволяет сохранить исходные материалы в их первоначальном виде, поскольку для восстановления используются специальные модифицированные минеральные растворы, которые соответствуют

исходному материалу по составу и физико-механическим свойствам.

В исследовании [8] описана технология реставрации кирпичной кладки инъекционным методом, а также какие материалы необходимы для выполнения той или иной технологической операции. Однако в работе отсутствуют составы модифицированных минеральных растворов для реставрации. В исследовании [9] инъекционный метод рассмотрен наиболее подробно. Однако, при многих преимуществах этого метода, воспроизвести технику старой кладки при его использовании довольно проблематично. Для правильной организации и выполнения работ по реконструкции кирпичной кладки необходимо знать основные факторы, приводящие к ее разрушению. Благодаря исследованиям [8-10] были сформированы факторы, влияющие на долговечность и пригодность кирпичной кладки: агрессивное



воздействие городской среды, жизнедеятельность живых организмов, перепады температур, воздействие солнечной радиации. Также важно помнить, что при проникновении воды в швы кладки в конструкции происходит нарушение ее целостности из-за замерзания и оттаивания [9].

Фасадный декор из бетона используется в строительстве уже давно, но декоративные элементы фасада со временем разрушаются. При восстановлении декоративных элементов из бетона наиболее эффективным решением является использование архитектурного фибробетона. Этот материал является современным и довольно распространенным в строительстве [10-11]. Фибробетон обладает рядом особенностей, благодаря которым этот материал эффективен и долговечен. Фасады из фибробетона обладают более высокими прочностными характеристиками по сравнению с традиционным бетоном, а также большими возможностями для создания декоративных элементов сложной формы и стойкостью к внешним воздействиям в течение длительного времени [12-13].

Внешний вид декоративных элементов из фибробетона не зависит от погодных условий. Во многом это связано с тем, что коэффициент линейного расширения фибробетона практически не отличается от аналогичного показателя материала наружных стен, к которым крепится декор или отделка. Это важное качество для фасадных элементов из фибробетона, поскольку все виды нагрузок, которые испытывает здание, равномерно распределяются между всеми его частями, включая декоративные элементы.

В качестве микроармирующего элемента может выступать практически любой тип материала. В данной работе в качестве армирующего элемента предлагается использовать асбестовое волокно. В исследованиях [14-16] хризотилевые волокна рассматриваются как оптимальный армирующий элемент, а также описывается механизм взаимодействия компонентов фибробетона. В то же время составы фибробетона с хризотилевыми волокнами в качестве армирующего элемента не представлены. Одним из важных свойств хризотила является его устойчивость к агрессивной щелочной среде.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются строительные материалы, отобранные на объекте реставрации – даче Воронова. Исследуемые образцы – керамический кирпич, фрагмент бетонной блясины. В таблице 1 приведены физико-механические свойства исследуемых материалов: бетонных блясин и керамического кирпича.

Физико-механические свойства изучались по стандартным методикам. Плотность образцов изме-

рялась гидростатическим методом, прочность измерялась неразрушающим способом с использованием измерителя прочности строительных материалов IPS-MG4.036. Влажность образцов определяли с помощью влагомера Protymeter MMSPlus (производитель "GEProtimeter", Ирландия).

Таблица 1. Физико-механические характеристики исследуемых материалов

Наименование образца	Наименование свойств			Примечания, пояснения
	Плотность, г/см ³	Прочность на сжатие, МПа	Влажность, %	
Бетонные блясины	2,06	37,11	2,22	Материал пригоден для дальнейшего использования с учетом восстановления
Керамический кирпич	1,73	15,81	2,54	

Образцы подвергались испытанию на морозостойкость ускоренным методом с использованием 5% раствора хлорида натрия. Предварительно испытываемые образцы насыщались раствором, затем подвергались замораживанию на воздухе при температуре минус 18-20 С⁰ на протяжении 2,5 часов и последующему размораживанию в растворе хлорида натрия на протяжении 3,5 часов при температуре плюс 20 С⁰. После требуемого количества циклов замораживания и оттаивания образцы подвергались испытанию на сжатие. Оставшиеся образцы испытывались на водостойкость: насыщались водой, после чего подвергались испытанию на сжатие. С помощью коэффициента размягчения была оценена водостойкость полученного материала.

Химический состав и микроструктуру исходных материалов изучали с помощью рентгенофазового анализа и электронной микроскопии на порошковом дифрактометре Bruker AXSD8 ADVANCE (модель D8, производитель: Bruker Optik GmbH, Германия) и сканирующем электронном микроскопе FEI-Quanta 200 3D (производитель: FEI, США).

Результаты исследования

Результаты рентгенофазового анализа исследуемых образцов представлены на рисунках 1-2.

На рисунке 3 показаны результаты растровой электронной микроскопии исследуемых образцов.

Для разработки реставрационного материала кирпичной кладки используются следующие материалы: серый портландцемент; кирпичная крошка (0,01-0,25 мм, 0,5-1 мм); суперпластификатор П-17; вода для герметизации; пигмент (если кирпичная кладка не подлежит отделке и покраске).



Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

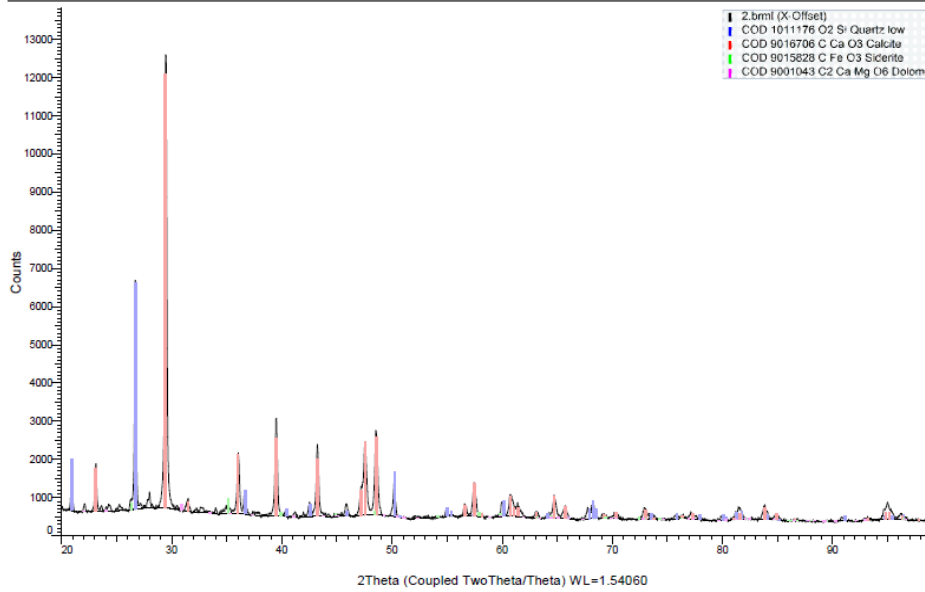


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа образца № 1 – бетонных балластин

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

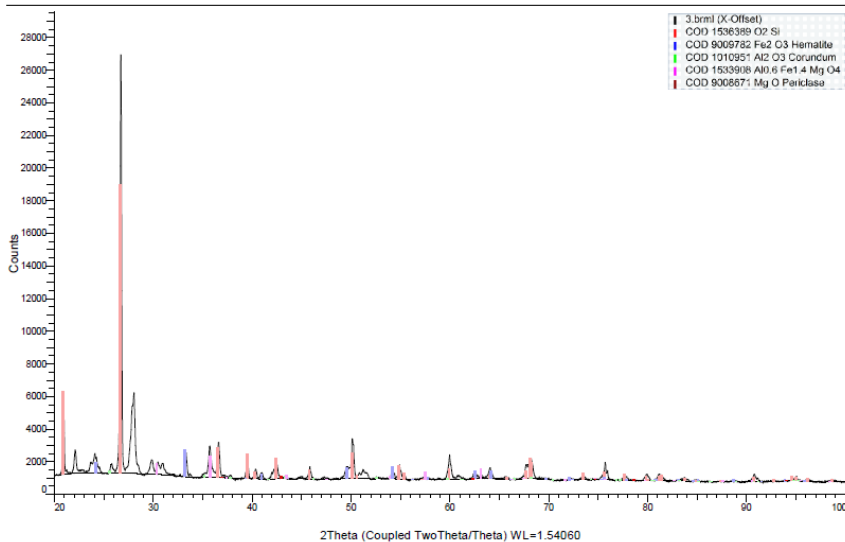
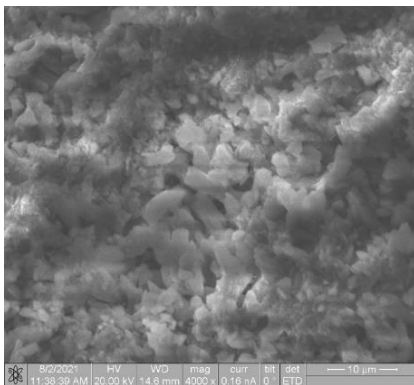
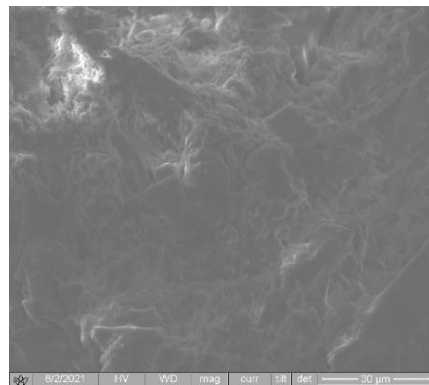


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа образца № 2 – керамического кирпича



а



б

Рис. 3: а – результаты электронной микроскопии отобранных образцов бетонных балластин;
б – результаты электронной микроскопии отобранных образцов керамического кирпича



По результатам лабораторных исследований был разработан состав модифицированного минерального раствора, который используется предназначен реставрации кирпичной кладки. Состав минерального раствора приведен в таблице 2.

Таблица 2. Состав модифицированного минерального раствора для реставрации кирпичной кладки

№ п/п	Наименование компонентов	Состав композиции в весовых частях
1	Серый портландцемент М-400	1,0
2	Кирпичная крошка фракции: 0,01.-0,25.25 мм (60%) 0,5.-1,0.0 мм (40%)	4,0 2,4
3	Суперпластификатор П-17	0,01
4	Вода	1,0-1,1

Технология реставрации и ремонта архитектурного бетона выбирается с учетом назначения конструкции степени нагрузки, характера повреждений, условий окружающей среды, эстетических требований к объекту. В таблице 3 приведен состав фибробетона, который может быть использован при реставрации архитектурных элементов зданий.

Таблица 3. Состав фибробетона на асбестовом волокне

Наименование состава	Содержание компонентов, масс.%				
	Портландцемент	Диоксид кремния	Асбестовое волокно	Суперпластификатор П-17	Вода
FBA-1	49	23	8	0.55	19.45
FBA-2	50	20	10	0.50	19.5
FBA-3	51	19	12	0.65	17.35

В таблице 4 приведены физические, механические и эксплуатационные свойства полученного материала.

Таблица 4. Физико-механические и эксплуатационные свойства полученного материала

Наименование свойств материала	Состав		
	FBA-1	FBA-2	FBA-3
Плотность сухого вещества, г/см ³	1,75	1,83	1,79
Прочность на сжатие, МПа	35,4	44,8	33,6
Модуль упругости, МПа	0,4	0,95	0,88
Теплопроводность, Вт/(м · °С)	0,56	0,65	0,62
Морозостойкость	F50	F75	F50

Рациональный выбор поверхностно-активных веществ имеет большое значение для оптимизации свойств разрабатываемого композита. В работе использовался поликарбоксилатный суперпластификатор (ПКС) марки Макромер, поскольку пластифицирующие добавки типа С-3 не соответствуют требованиям экологической безопасности. Использование ПКС способствует получению композитов с низкой ползучестью под

нагрузкой. Минимальные дозы ПКС обеспечивают высокую плотность фибробетонных смесей и повышают их эксплуатационные характеристики. Согласно результатам исследований, приведенным в таблице 4, состав фибробетона FBA-2 обладает наилучшими показателями.

Результаты и обсуждение

По результатам исследования можно сделать вывод, что материал образца №1 (бетонная балаясина) состоит из гидросиликатов кальция, кварца и карбонатов в виде доломита и сидерита. Реакции силикаобразования прошли до конца, материал приобрел максимально возможную прочность. Образец № 2 (керамический кирпич) включает глинистые минералы и кварц.

По результатам электронной микроскопии материал образца №1 (бетонной балаясины) при увеличении в 4000 раз, представлен мелкозернистой структурой продуктов гидратации цемента, материал пронизан порами. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что материал образца №2 (керамика) плотный, однородной структуры.

В ходе исследований был разработан модифицированный минеральный раствор для восстановления кирпичной кладки. Для приготовления этого раствора необходимо выполнить следующие технологические операции: взвесить сухие компоненты смеси на технических весах, а затем поместить их в емкость для сухого смешивания; тщательно перемешать сухие компоненты смеси; взвесить необходимое количество поликарбоксилатного суперпластификатора; дозировать необходимое количество воды в специальную емкость, поместить в нее добавку (суперпластификатор Р-17) и тщательно перемешать; порциями добавлять цемент и кирпичную крошку в сухую смесь, а затем добавить воду и тщательно перемешивать в течение 15 минут до получения однородной массы. Смесь должна быть тщательно перемешана и не содержать неравномерно перемешанных частей цемента, кирпичной крошки и пигмента, смесь должна быть пластичной во время выполнения реставрационных работ. Гранулометрический состав смеси не должен меняться во время перемешивания. После перемешивания материал выгружается в промежуточную емкость. Его не следует хранить более 2 часов с момента приготовления, при хранении в течение двух часов его необходимо периодически перемешивать, чтобы сохранить пластичность и избежать сегрегации.

Выводы

В результате исследований был разработан состав фибробетона на основе асбестового волокна, который является инновационным и прочным материалом, не склонным к растрескиванию, как большинство современных архитектурных бетонов. Благодаря хризотилowym волокнам этот материал устойчив к морозу и жаре, обладает низкой тепло-



проводностью, достаточной устойчивостью к агрессивным условиям окружающей среды и высокой прочностью на разрыв. Хризотил образует микроармирование в композите благодаря своей структуре – тончайшим трубкам, которые можно отнести к природным наноструктурированным материалам. Характерной особенностью материала с добавлением хризотила является мощное сцепление вдоль волокна, что подтверждается высокими значениями среднего модуля упругости (около 20 000 МПа) и прочности на разрыв (около 400 кг/мм²). Они также характеризуются высокой химической стойкостью и низкой теплопроводностью и выгодно отличаются от УНТ четко определенной ориентацией.

Библиографический список

1. Способы реставрации кирпичной кладки зданий старой застройки / Л. А. Аниканова, Т. Е. Дизендорф, О. М. Лоскутов [и др.] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2010. – № 5(136). – С. 42-43. – EDN YUKUDZ.
2. Серикова, Л. С. Технологии реставрации кирпичной кладки / Л. С. Серикова, К. А. Лапунова // Научный альманах. – 2018. – № 4-3(42). – С. 85-88. – DOI 10.17117/na.2018.04.03.085. – EDN XQBOTZ.
3. Евсеев, Е. Эволюция строительных технологий в контексте истории архитектуры XIX века: реставрационный аспект / Е. Евсеев // Мир искусств: Вестник Международного института антиквариата. – 2016. – № 3(15). – С. 86-92. – EDN YQVBTР.
4. Реставрация зданий из керамического кирпича / А.К. Сосенко, В.Д. Котляр, Я.В. Черевкова // Строительство-2015: современные проблемы строительства. Материалы международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2015. – С. 463-465. – EDN ORFYPC.
5. Исследование фторангидритового сырья для получения композиционных вяжущих / Л. А. Аниканова, О. В. Волкова, А. И. Курмангалиева, К. С. Волков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4(51). – С. 160-170. – EDN UDKOQV.
6. Проблемы реставрации памятников архитектуры и реставрационные технологии / Ю.В. Ивашко // Будмайстер. – 2003. – № 4. – С. 22-24.
7. Мальцева, И. В. Об использовании гидрофобизаторов в фасадных отделочных материалах / И. В. Мальцева // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4(47). – С. 169. – EDN YUQLQP.
8. Белановская, Е. В. Защита кирпичной кладки памятников архитектуры от коррозии / Е. В. Белановская // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2013. – № 1-2(46). – С. 7-9. – EDN QVJOTZ.
9. Ключев, А. В. Усиление изгибаемых конструкций композитами на основе углеволокна / А. В. Ключев // Вестник Белгородского государственного технологического универ-

ситета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 38-41. – EDN OAKGPT.

10. Щеткова, Е. А. Хризотил как оптимальный армирующий агент для фибробетонов / Е. А. Щеткова, Р. В. Севастьянов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 174-191. – DOI 10.15593/2224-9826/2015.2.12. – EDN TZUERJ.
11. Изменение структуры и химического состава волокон хризотил-асбеста под воздействием технологических факторов производства известково-кремнеземистых теплоизоляционных изделий / Т. И. Григоренко, Н. А. Захарова, Н. Т. Картель [и др.] // Химия, физика и технология поверхности. – 2014. – Т. 5. – № 3. – С. 349-357. – EDN SYBIET.
12. Пятница-Горпинченко, Н. К. Асбест и волокнистый канцерогенез / Н. К. Пятница-Горпинченко // Довкілля та здоров'я. – 2014. – № 1(68). – С. 4-9. – EDN RYEEPP.
13. Щеткова, Е. А. Процессы структуро- и фазообразования в системе "вяжущее вещество (цемент) - вода - заполнитель" и их влияние на свойства бетона / Е. А. Щеткова, Р. В. Севастьянов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 4(16). – С. 48-58. – EDN TEQРХN.
14. Калашников, В. И. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения / В. И. Калашников, О. В. Тараканов // Строительные материалы. – 2017. – № 1-2. – С. 62-67. – EDN XXINSZ.
15. Зотов, А. Н. Исследование и прогнозирование технологических свойств бетонных смесей с полипропиленовой фиброй / А. Н. Зотов // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 1(42). – С. 79-83. – EDN SCSHMR.
16. Коровкин, М. О. Исследование эффективности полимерной фибры в мелкозернистом бетоне / М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина, А. Р. Ямбукова // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2(45). – С. 129. – EDN ZEOOEN.
17. Черепанова, Е. Е. Новшества в строительстве: фибробетон / Е. Е. Черепанова, Е. С. Полетаева // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-ой юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2012 г., Самара, 15–19 апреля 2013 года / Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Том Часть 2. – Самара: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный архитектурно-строительный университет", 2013. – С. 42-46. – EDN TUDQBV.
18. Лошак, В. В. Влияние гранулометрического состава заполнителя на эстетические и эксплуатационные свойства декоративного бетона / В. В. Лошак, С. В. Черкасов, В. В. Власов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии. – 2011. – № 3-4. – С. 61-66. – EDN PJTJUN.
19. Архитектурный бетон: новые подходы к обеспечению качества / В. Р. Фаликман, Ю. В. Сорокин, В. В. Денискин, Н. Ф. Башлыков // Бетон и железобетон. – 2002. – № 5. – С. 10-14. – EDN ZWVNCL.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.



Научная статья
УДК 691.3
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_1_86

**МАТЕРИАЛ С КРУПНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ НА ОБЖИГОВОЙ ПОРИЗОВАННОЙ СВЯЗКЕ,
ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛОБОЯ***

© Авторы 2023
SPIN: 5530-4158
AuthorID: 688766

КОРОТАЕВ Сергей Александрович
кандидат технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва (Россия, Саранск)*

АТМАНЗИН Алексей Фёдорович
директор
ООО «А-Строй» (Россия, г. Москва)

КОРОТАЕВ Николай Сергеевич
инженер
ООО «А-Строй» (Россия, г. Москва)

SPIN: 9213-4861
AuthorID: 800708
ORCID: 0000-0001-8517-5958
ResearcherID: AAQ-9234-2021

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой строительных материалов и технологий
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)*

Аннотация. Одной из важнейших проблем современного строительного материаловедения является получение эффективных композиционных материалов с применением местного сырья и отходов промышленных предприятий. Это объясняется необходимостью охраны окружающей среды, дефицитностью отдельных строительных материалов и т. д. В данной работе рассмотрен вариант применения боя искусственных стекол как эффективного вторичного ресурса, который может быть использован промышленностью строительных материалов. Разработанный материал, обладающий повышенными свойствами водостойкости, пожаробезопасности и экологической чистоты при эксплуатации, рекомендуется к использованию для изготовления тепло- и звукоизоляционных изделий в виде блоков и плит при предварительном технико-экономическом обосновании.

Ключевые слова: строительные материалы; экология; стеклобой; отходы стекла; пористые материалы из техногенного стекла; материалы нового поколения; местные материалы

Для цитирования: Материал с крупным наполнителем на обжиговой поризованной связке, полученной с использованием стеклобоя / С.А. Коротаев, А.Ф. Аتمانзин, Н.С. Коротаев, В.Т. Ерофеев // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 86-90. doi:10.51608/26867818_2023_1_86.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

MATERIAL WITH A LARGE FILLER ON A ROASTING POROUS BOND PRODUCED USING CULLET

© The Author(s) 2023

KOROTAYEV Sergey Alexandrovich

candidate of technical sciences, associate professor
*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

ATMANZIN Alexey Fyodorovich

Director
A-Stroy LLC (Russia, Moscow)

KOROTAYEV Nikolai Sergeevich

Engineer
A-Stroy LLC (Russia, Moscow)

EROFEEV Vladimir Trofimovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Building Materials and Technologies
*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)*

Annotation. One of the most important problems of modern construction materials science is the production of effective composite materials with the use of local raw materials and industrial waste. This is due to the need to protect the environment, the scarcity of individual building materials, and so on. The article considers a variant of artificial glass combat as an effective secondary resource, which can be used by the industry of building materials. The developed material exhibiting increased water resistance, fire safety and environmental cleanliness during operation is recommended for use in the manufacture of heat and sound insulation products in the form of blocks and plates with advanced technical business case.

Keywords: building materials; ecology; glass; glass waste; porous materials from semisynthetic glass; materials of a new generation

For citation: Material with a large filler on a roasting porous bond produced using cullet / S.A. Korotayev, A.F. Atmanzin, N.S. Korotayev, V.T. Erofeev // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 86-90. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_86.

Среди всего многообразия техногенных и бытовых отходов, которые в больших количествах сбрасываются в отвалы, значительная часть приходится на бой искусственных стекол. Большая часть, попадая на свалки, способствует их быстрому заполнению и загрязняет окружающую среду. А между тем бой стекла – это эффективный вторичный ресурс, который может быть использован строительной индустрией при получении поризованных (ячеистых) стекол, характеризующихся малой объемной массой, хорошей химической стойкостью, тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Применяемые в настоящее время способы изготовления строительных материалов на основе отходов стекла базируются на технологиях, предусматривающих спекание сырья при высоких температурах или его обработку в автоклавах.

В монографии [1] описан разработанный способ получения связующего и бетонов на основе боя

стекла с добавкой щелочного компонента, твердеющих при температуре, не превышающей 90 °С. Авторами монографии также проведены исследования, направленные на получение поризованных керамзитогазобетонов на керамзитовом гравии на основе стеклощелочного связующего. Достоинством разработанной технологии является отверждение связующего при температурах, не превышающих 90 °С, или в нормальных температурно-влажностных условиях. Перед заливкой смеси в форму для поризации связующего в смесь вводится газообразующая добавка. После распалубки отвержденного изделия требуется механическая обработка его верхней поверхности (не контактировавшей с поверхностью стенки формы).

Расширение свойств и области использования материалов с крупными заполнителями возможно при использовании в качестве связующих матриц низко- и высокотемпературных (обжиговых) связок [2-3].



В представленной работе сочетание поризованной связки, полученной с использованием молотого стеклобоя, с крупным жаростойким наполнителем предусматривает термообработку заготовки при температуре, не превышающей 780 °С. Заготовка с крупным наполнителем формируется по так называемой каркасной технологии [4]. Каркасная технология формования позволяет последовательно использовать различные типы связующих для склеивания каркаса из зерен наполнителя и для заполнения пор отвержденного каркаса. В данном случае нами использовались: для склеивания каркаса из зерен наполнителя – связующее из натриевого жидкого стекла, для заполнения пор отвержденного каркаса – связующее из порошка типичного натрий-кальцийсиликатного стекла [5], полученного помолом стеклобоя. То есть, при формовании заготовки использовалось комплексное связующее. Выбор жидкого стекла был обусловлен его широким использованием при получении строительных материалов [6] и высокой адгезией к подложкам различной природы [7].

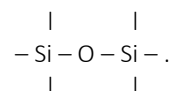
Разработанный способ получения материала с крупным наполнителем из керамзита на поризованной стеклообразной натрий-кальцийсиликатной связке включает следующие операции.

1. Смешивание наполнителя с жидким стеклом и укладка приготовленной смеси в форму.
2. Отверждение жидкостекольного связующего каркаса в форме в процессе сушки при температуре 60-80 °С и получение каркаса.
3. Извлечение отвержденного каркаса из формы и пропитка его водной суспензией порошка стекла, полученного помолом стеклобоя.
4. Сушка пропитанного каркаса при температуре 60-80 °С.
5. Обжиг пропитанного и высушенного каркаса на огнеупорном поддоне при температуре 740-780 °С.
6. Охлаждение обожженного изделия в остывающей печи.

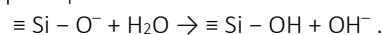
Таким образом, после сушки термообработка заготовки в печи проводится на огнеупорном поддоне без формовой оснастки. Синтез поризованной связки осуществляется в процессе обжига заготовки из компонентов комплексного связующего без дополнительного использования газообразующей добавки.

Теоретическое обоснование механизма синтеза поризованного стеклообразного связующего из компонентов предлагаемого комплексного связующего в процессе последовательно проводимой термообработки на этапах сушки и обжига проведено на основе анализа современных представлений о строении и свойствах щелочных силикатных растворов, описанных в [7], и физико-химических закономерностей поведения щелочных силикатных стекол

при взаимодействии с водой, приведенных в [8]. При сушке натриевого жидкого стекла, которым склеивается каркас из зерен наполнителя, возникают переиспользованные метастабильные растворы с последующим переходом гидратных форм силикатов натрия при испарении влаги в стекловидное состояние. Отверждение сопровождается полимеризацией кремнийсодержащих химических связей при удалении гидроксильно-водородных групп с образованием кремнийполимерного каркаса объемной сетчатой структуры с ячейками типа



Отвердевшая клеевая связка имеет прочную адгезию к поверхности пористого наполнителя и высокую прочность, но не обладает водостойкостью. При последующей сушке пропитанного водной суспензией порошка стекла каркаса в процессе взаимодействия слоя суспензии стекла со стеклообразной жидкостекольной связкой будет происходить растворение последней. Процесс растворения гидратированного натриевого стекла сопровождается переходом в раствор катионов натрия за счет сольватационного взаимодействия. Кинетика растворения определяется силикатным модулем стекла и температурой. Навстречу катионам натрия в фазу стекла диффундируют молекулы воды, часть которых вступает в реакцию гидролиза с анионным каркасом стекла по реакции:



Образующиеся гидроксильные ионы, обладающие высокой подвижностью, будут покидать реакционную зону на границе раздела фаз и переходить в раствор. Также способны переходить в раствор высвобождающиеся мономерные и полимерные анионы, существующие в стекле. Для катионов скорость перехода в раствор выше, чем для анионов. Следствием этого является создание условий для увеличения концентрации гидратированного кремнезема на границе раздела фаз. При повышении температуры в процессе высушивания материала и понижении pH происходит полимеризация гидратированного кремнезема и образование пленки геля кремниевой кислоты. На определенном этапе сушки образующиеся вязкие гелевые слои замедляют процесс растворения стеклообразной жидкостекольной связки каркаса, что способствует сохранению связкой определенной прочности и позволяет проводить сушку пропитанного каркаса без формы. Одновременно с процессом взаимодействия растворной части суспензии стекла с жидкостекольным клеем каркаса происходят процессы выщелачивания и обводнения исходной структуры стекла частиц суспензии, механизм которых основан на взаимодействии водных растворов щелочей с кремнеземом. Обводне-

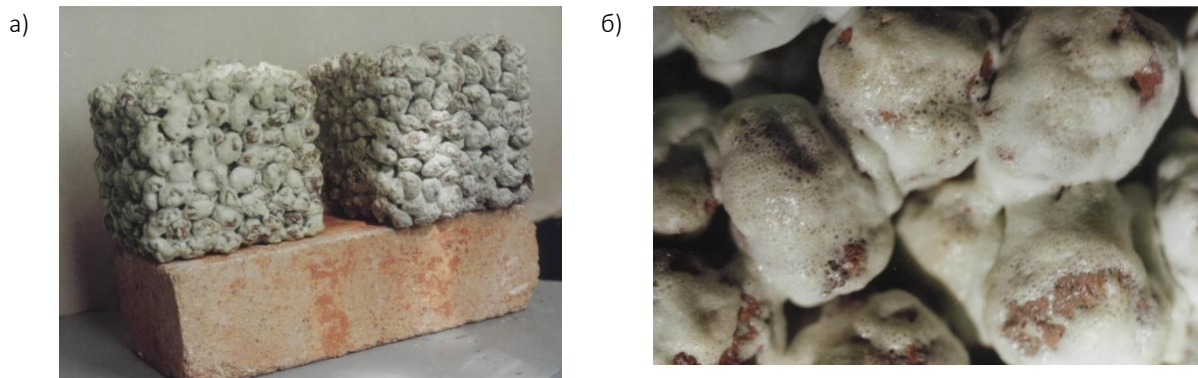


Рис. 1. Образцы из материала крупнопористой структуры с керамзитом фракции 10-20 мм насыпной плотностью 550 кг/м³ после обжига (а) и фрагмент материала с поризованным стеклообразным связующим после обжига (б)

ние стекла происходит при его гидратации и гидролизе и сопровождается адсорбцией гидратированных катионов щелочных металлов на активных участках поверхности кремнезема, возникающих при помолу стекла, с последующей деполимеризацией кремнезема вследствие гидролиза связей $\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Si} \equiv$ с образованием силаноловых групп $\equiv \text{Si} - \text{OH}$.

Гидратированный кремнезем переносится при сушке к поверхности частиц стекла и при увеличении его концентрации в процессе сушки происходит полимеризация кремнекислоты с образованием плотной эластичной пленки геля, обладающей вяжущими свойствами. По мере удаления свободной воды из высушиваемого материала в объеме связки образуются гидросиликаты натрия из продуктов деструкции клеевой связки каркаса и частиц стекла суспензии. Оставшаяся после сушки свободная вода образует водородные связи с силанольной водой. Последующий нагрев изделия-сырца в обжиговой печи до 400 °С сопровождается удалением воды из гидросиликатов натрия. При дальнейшем повышении температуры до температуры обжига 740-780 °С разрушаются связи кремнекислоты, полимеризуются кремнекислородные тетраэдры и происходит выделение воды при дегидратации гидроксильного покрова стекла. В этом же температурном интервале образующаяся из компонентов комплексного связующего эвтектическая смесь системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ при плавлении обеспечивает накопление значительного количества расплава, обладающего необходимой пиропластической подвижностью, и образование в объеме обжигаемой связки замкнутых пор. При совпадении процессов газовыделения и образования в расплаве замкнутых пор создаются условия для вспучивания связующего при резком повышении давления пара в порах.

Результаты ИК-спектроскопических исследований подтверждают, что вспучивающим агентом являются пары воды. На ИК-спектре поглощения комплексного связующего после сушки пропитанного каркаса фиксируются широкая полоса поглощения в

интервале 3 300 – 3 600 см⁻¹, связанная с валентными колебаниями O – H связи в оксигидрильных группах O_mH_n [9].

Результаты проведенных экспериментов показали, что в процессе последовательно проводимых этапов термообработки из компонентов комплексного связующего формируется безупрочная поризованная стеклообразная матрица, связывающая зерна крупного заполнителя (рис. 1, б). Диаметр пор стеклообразного связующего, определенных микроскопическим исследованием, составляет 0,02-0,50 мм. В процессе обжига заготовка сохраняет свою форму при некотором увеличении объема (на 8-12 %) и не требует механической обработки после обжига. Образцы из материала крупнопористой структуры с керамзитом фракции 10-20 мм после обжига показаны на рис. 1, а. Фрагмент материала после обжига с поризованным стеклообразным связующим показан на рис. 1, б.

Физико-механические характеристики материала крупнопористой структуры полученных образцов (рис. 1, а) имеют следующие параметры: плотность 596 – 620 кг/м³; водопоглощение, определенное после кипячения образцов в воде в течение 30 мин, 20,8–24,2 %; прочность при сжатии 1,3–1,5 МПа. Физико-механические характеристики материала можно регулировать, изменяя вид, крупность и плотность используемого заполнителя, а также степень заполнения связующей матрицей объема пор между зернами заполнителя.

Разработанный материал обладает водостойкостью, пожаробезопасностью, экологической чистотой при эксплуатации и может быть использован для изготовления тепло- и звукоизоляционных изделий в виде блоков и плит при предварительном технико-экономическом обосновании. При использовании блоков и плит из разработанного материала в качестве утепляющего слоя в ограждающих конструкциях зданий и сооружений крупные поры на лицевых поверхностях изделий должны быть закрыты, например, оштукатуриванием лицевых поверхностей.



Библиографический список

1. Богатова, С. Н. Ячеистые и поризованные бетоны на основе отходов стекла / С. Н. Богатова, А. Д. Богатов, В. Т. Ерофеев. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. – 108 с. – ISBN 978-5-7103-3922-0. – EDN TZQPCC.
2. Структурированный высокопористый силикат-натриевый материал повышенной тепло- и термостойкости / С. А. Мизюряев, А. Н. Мамонов, В. М. Горин, С. А. Токарева // Строительные материалы. – 2011. – № 7. – С. 8-9. – EDN PYSYCL.
3. Прогрессивная концепция формирования стеновых блоков из легкого бетона на обжиговой связке / А. П. Пичугин, А. С. Денисов, В. Ф. Хританков, В. И. Бареев // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 22-24. – EDN OORSZB.
4. Бобрышев, А. Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем / А. Н. Бобрышев, В. Т. Ерофеев, В. Н. Козомазов. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургская издательско-книготорговая фирма "Наука", 2012. – 474 с. – ISBN 978-5-02-025495-4. – EDN SNENQF.
5. Кетов, А. А. Нанотехнологии при производстве пеностеклянных материалов нового поколения / А. А. Кетов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2009. – Т. 1, № 3. – С. 15-23. – EDN KYVQAD.
6. Михайленко, Н. Ю. Строительные материалы на жидкостекольном связующем часть 1. Жидкое стекло как связующее в производстве строительных материалов / Н. Ю. Михайленко, Н. Н. Клименко, П. Д. Саркисов // Техника и технология силикатов. – 2012. – Т. 19, № 2. – С. 25-28. – EDN PAVJKT.
7. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла: Жидкое стекло. - Л.: Стройиздат. Ленингр. отд., 1991. 176 с.
8. Основные физико-химические закономерности получения пористых материалов из техногенных стекол, обводненных в различных условиях / Т. И. Шелковникова, Е. В. Баранов, Н. С. Петухова, И. В. Тищенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2012. – № 5. – С. 50-56. – EDN PCQYX.
9. Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды. - М.: Наука, 1973. 208 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 691.55

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_91

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ БИОДЕСТРУКТОРОВ ШТУКАТУРНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИХ ЭКСПОЗИЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ФАКТОРОВ

© Авторы 2023

ЛЕДЯЙКИН Никита Васильевич

магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск, e-mail: nikita.1234.nikita@mail.ru)

ЛЕДЯЙКИНА Оксана Васильевна

аспирант кафедры строительных материалов и технологий

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск, e-mail: oksana.ledyaykina.97@mail.ru)

Аннотация. Под биологической коррозией понимают процессы деструкции строительных материалов, которые были вызваны продуктами жизнедеятельности живых организмов, поселяющихся на их поверхности. Биологические повреждения микроорганизмами строительных и промышленных материалов, на сегодняшний день является важной экологической проблемой. В связи с этим необходимо использовать материалы, которые обладают высокими биологическими свойствами.

Объектом исследования являются штукатурные составы, изготовленные из цементной штукатурки с использованием антисептических добавок. Разработанные образцы, выдерживались на площадке под открытым небом 1 и 6 месяцев. В данной работе приведены результаты микробиологического анализа отобранных проб материалов, идентифицирован видовой состав биодеструкторов. Исследования были проведены в климатических условиях Республики Мордовия.

Ключевые слова: штукатурные образцы; строительные материалы; антисептические добавки; метод изъятия проб; биоповреждения; микроорганизмы

Для цитирования: Ледайкин Н.В., Ледайкина О.В. Изучение основных биодеструкторов штукатурных образцов при их экспозиции в условиях воздействия ультрафиолетового облучения и температурно-влажностных факторов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 91-96. doi:10.51608/26867818_2023_1_91.

Original article

MICROBIOLOGICAL STUDY OF THE MAIN BIODESTRUCTORS IDENTIFIED ON PLASTERING SAMPLES SUSTAINED UNDER EXPOSURE CONDITIONS ULTRAVIOLET IRRADIATION AND TEMPERATURE AND HUMIDITY FACTORS

© The Author(s) 2023

LEDYAYKIN Nikita Vasilyevich

Master's Degree Student

*National Research OgarevMordovia State University
(Russia, Saransk, e-mail: nikita.1234.nikita@mail.ru)*

LEDYAYKINA Oksana Vasilyevna

PhD Candidate

*National Research OgarevMordovia State University
(Russia, Saransk, e-mail: oksana.ledyaykina.97@mail.ru)*

Annotation. Biological corrosion is understood as the processes of destruction of building materials that were caused by the waste products of living organisms settling on their surface. Biological damage by microorganisms of construction and industrial materials is an important environmental problem today. In this regard, it is necessary to use materials that have high biological properties.



The object of the study is plaster compositions made of cement plaster using antiseptic additives. The developed samples were kept on an open-air site for 1 and 6 months. In this paper, the results of microbiological analysis of selected samples of materials are presented, the species composition of biodestructors is identified. The research was carried out in the climatic conditions of the Republic of Mordovia.

Keywords: plaster sample; antiseptic additives; sampling method; bio-damage; microorganisms

For citation: Ledyaykin N.V., Ledyaykina O.V. Microbiological study of the main biodestructors identified on plastering samples sustained under exposure conditions ultraviolet irradiation and temperature and humidity factors // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 91-96. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_91.

Введение

Тема биоповреждений в строительстве является актуальной. Более 40 % всех биодеградаций в строительной отрасли связаны с микроорганизмами, которые являются одними из наиболее агрессивных биодеструкторов строительных материалов [1-3].

Биологическая коррозия в сравнении с другими видами коррозии считается менее изученной, поскольку ее механизмы более сложные и многостадийные [4]. Биодеструкция включает в себя, как правило, комплекс различных факторов: химических, физических, механических.

На сегодняшний день масштаб биоповреждений материалов резко вырос. Это связано с ростом номенклатуры выпускаемых материалов и изделий, поскольку биодеструкторы способны приспосабливаться к новым условиям и приводить в непригодность почти все, что создал человек [5-6].

Применение отделочных материалов в строительстве является рациональным решением, поскольку они улучшают не только эксплуатационные свойства зданий, но и являются защитой для строительных конструкций от атмосферного воздействия. Отделочные материалы в современном строительстве представляют собой как материалы на основе стекла и пластмасс, так и штукатурки, декоративные панели [7].

Хозяйственная деятельность человека вызывает риск появления биозагрязнений и деградацией зданий, сооружений. Это связано с игнорированием экологических норм при строительстве объектов, а также безграмотным их функционированием. Из-за этого, могут образовываться плесневые грибы на поверхностях стен, потолков зданий, приводящих к биохимическим деструкциям конструкций [8-9].

Отрицательное воздействие со стороны микроорганизмов испытывают не только строительные конструкции. В зданиях, где появляются плесневые грибы, человек, может подвергнуть свое здоровье негативному их влиянию. Продуктами жизнедеятельности данных микроорганизмов являются вещества, которые, как правило, являются аллергенами и возбудителями серьезных заболеваний у людей [10].

Таким образом, важно установить возможность заражения и степень обрастаемости микроор-

ганизмами штукатурных составов декоративного назначения.

Цель работы: исследовать видовой состав микроорганизмов с поверхности штукатурных образцов с различными антисептическими добавками, выдержанных на площадке под открытым небом.

Задачи исследования:

1. Освоить основные характеристики антисептических добавок;
2. Разработать штукатурные составы;
3. Исследовать биологическую стойкость разработанных штукатурных образцов в зависимости от вида антисептической добавки;
4. Охарактеризовать микроорганизмы, которые были идентифицированы на поверхности штукатурных составов, экспонированных на площадке, где действовали переменные температуры, влажность, ветер, ультрафиолетовое излучение (площадка под открытым небом).

Применяемые материалы

Для проведения эксперимента было разработано 13 составов цементных композитов. В роли вяжущего выступала штукатурка цементная «Ахтон» (применяют для выравнивания стен и потолков, можно использовать во влажных помещениях).

Таблица 1. Составы для исследований

№ состава	Масса компонентов, %			Название добавки	Обработка поверхности образцов антисептиком
	Сухая штукатурка	Вода	Антисептическая добавка		
0		30	–		–
1	100	27,5	2,5	Санатекс	–
2		25	5		–
3		22,5	7,5		–
4		30	–		+
5		27,5	2,5	Антиплесень. Лакра	–
6		25	5		–
7		22,5	7,5		–
8		30	–		+
9		27,5	2,5	DALI	–
10		25	5		–
11		22,5	7,5		–
12		30	–		+



При изготовлении штукатурных образцов использовали антисептические добавки: «Санатекс. Универсал» – антисептическое средство, позволяющее подготовить минеральные и деревянные основания к отделочным работам, данный антисептик убивает грибки, лишайники, предотвращает появление биоповреждений. «DALI® Универсальный антисептик» используют внутри и снаружи помещений по любым типам поверхностей, как для уничтожения биоповреждений, так и в качестве профилактической обработки поверхностей. «Антиплесень. Лакра» применяют для наружных и внутренних работ в жилых помещениях с повышенной влажностью, предотвращает развитие микроорганизмов-биодеструкторов на строительных материалах.

В таблице 1 представлены исследуемые составы.

Методика исследований

Штукатурные образцы размером 1×1×3 см экспонировались в климатических условиях Республики Мордовия. Разработанные составы после отверждения в нормальных температурно-влажностных условиях выдерживались в условиях воздействия ультрафиолетового облучения и температурно-влажностных факторов 6 месяцев.

Метод изъятия проб. Штукатурные образцы размерами 1×1×3 см отбирались с площадки экспозиции с соблюдением условий стерильности, после чего были отправлены в лабораторию для дальнейшего бактериологического исследования. С поверхности штукатурных образцов специалистами в лаборатории были взяты смывы.

Метод бактериологического исследования смывов с поверхности образцов. Со смывов исследуемых штукатурных образцов проводился посев в чашки Петри. В качестве питательной среды был использован МПА (мясопептонный агар). После чего чашки Петри выдерживали в термостате 48 ч при температуре 37°C. Затем проводилась окраска бактерий на МПА по Граму.

Для изучения приготовленных мазков под микроскопом применяли иммерсионное масло.

В зависимости от итога окраски по Граму определяют бактерии, грамположительные окрашиваются в темно-фиолетовый цвет, а грамотрицательные в ярко-малиновый.

Для изучения мицелия и спороношения грибов используют, как правило, предметное стекло, покрытое покровным стеклом.

Приготовленные препараты просматривались под микроскопом при увеличении: для бактерий – 1600х, для грибов – 640х.

При помощи определителя бактерий Берджи определяли по морфологическим признакам видовой состав микроорганизмов.

Экспериментальные результаты

Экспериментальные исследования проводились с целью выявления видовой принадлежности микроорганизмов, которые заселились на поверхности образцов, выдержанных в условиях воздействия ультрафиолетового облучения и температурно-влажностных факторов.

Первая часть бактериологического анализа заключалась в изучении смывов образцов, находившихся в закрытом контейнере. В результате исследования были выделены грамотрицательные палочковидные бактерии.

Вторая часть исследований предполагала изучение смывов с поверхности штукатурных образцов, экспонированных в течение 1 месяца на площадке под открытым небом. Проведенный микробиологический анализ позволил идентифицировать: грам (-) палочки, грибок рода *Micor* на образцах состава №12.

На третьем этапе эксперимента были изучены смывы с поверхности образцов, выдержанных 6 месяцев на площадке под открытым небом. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Смывы с поверхности образцов, экспонированных в течение 6 месяцев на площадке под открытым небом

№ состава	Наименование питательной среды и способ окраски бактерий	Описание роста бактерий на питательной среде и описание окрашенных мазков
1	2	3
1	МПА	Рост колоний сплошной, размер колоний крупный (>5мм в диаметре), структура однородная, форма амёбовидная, прозрачность матовая.
	Окраска по Граму	Грам (-) короткие, толстые, биполярные палочки, расположенные одиночно.
2	МПА	Рост колоний одиночный, размер колоний средний (0,5 – 3,0 мм) и крупный (>5мм), цвет прозрачный, форма амёбовидная, поверхность гладкая, консистенция плотная.
	Окраска по Граму	Грам (-) мелкие биполярные палочки, расположенные одиночно и цепочкой.
3	МПА	Рост колоний сплошной, цвет серо-белый, структура неоднородная, прозрачность тусклая, консистенция плотная.
	Окраска по Граму	Грам (-) короткие палочки, расположенные одиночно.
4	МПА	Рост колоний одиночный, размер крупный (>5мм), цвет серо-белый, форма неправильная, поверхность гладкая.



Продолжение табл. 2

1	2	3
	Окраска по Граму	Грам (-) крупные палочки, расположенные одиночно.
5	МПА	Рост колоний сплошной, цвет серо-белый, структура однородная, форма овальная, поверхность гладкая, профиль матовый.
	Окраска по Граму	Грам (-) короткие биполярные палочки, расположенные парно и одиночно
6	МПА	Рост колоний сплошной, цвет серо-белый, структура мелкозернистая, консистенция плотная, прозрачность тусклая.
	Окраска по Граму	Грам (-) длинные и короткие палочки, расположенные одиночно.
7	МПА	Рост колоний сплошной, размер колоний крупный (>5мм), цвет серо-белый, структура мелкозернистая, форма неправильная, поверхность шероховатая, профиль матовый.
	Окраска по Граму	Грам (-) короткие, тонкие палочки, расположенные одиночно палочки.
8	МПА	Рост колоний сплошной, размер колоний средний (0,5 – 3,0 мм), цвет серовато-белый, структура мелкозернистая, форма неправильная, поверхность гладкая.
	Окраска по Граму	Грам (-) мелкие биполярные палочки, расположенные парно и цепочкой.
9	МПА	Рост колоний сплошной, цвет прозрачный, поверхность гладкая, консистенция плотная, профиль матовый.
	Окраска по Граму	Грам (-) тонкие палочки, расположенные одиночно.
10	МПА	Рост колоний одиночный, размер колоний крупный (>5мм) и средний (0,5 – 3,0 мм), цвет серо-белый, форма неправильная, поверхность шероховатая, консистенция плотная.
	Окраска по Граму	Грам (-) крупные палочки, расположенные парно и одиночно.
11	МПА	Рост колоний сплошной, цвет серовато-белый, прозрачность тусклая, консистенция плотная, профиль матовый.
	Окраска по Граму	Грам (-) мелкие палочки расположенные одиночно и цепочкой.
12	МПА	Рост колоний одиночный, размер колоний мелкий (0,1 – 0,5 мм), цвет серо-белый, прозрачность тусклая, консистенция плотная, профиль матовый. Виден рост мицелия серо-белого цвета, поверхность пушистая, нитевидная. Идентификация: гриб рода <i>Mucor</i> .

Окончание табл. 2

1	2	3
	Окраска по Граму	Грам (-) длинные, тонкие палочки, расположенные одиночно.
0	МПА	Рост колоний сплошной, цвет серо-белый, форма амёбовидная, консистенция плотная, поверхность шероховатая. Присутствует рост мицелия серо-белого цвета. консистенция войлокообразная, поверхность пушистая, нитевидная. Идентификация: гриб рода <i>Mucor</i> .
	Окраска по Граму	Грам (-) крупные палочки, расположенные одиночно.

Далее приведены фотографии микроорганизмов, которые были выделены с поверхности штукатурных образцов, выдержанных 6 месяцев на площадке под открытым небом.

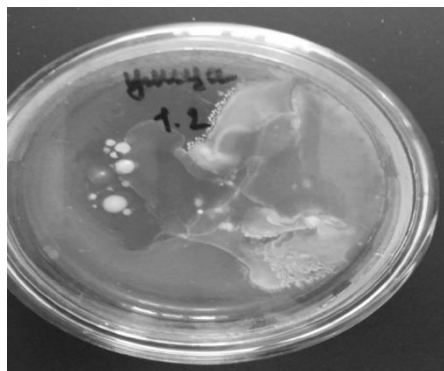


Рис. 1. Рост колоний на МПА в чашке Петри (состав №1, образец 2)

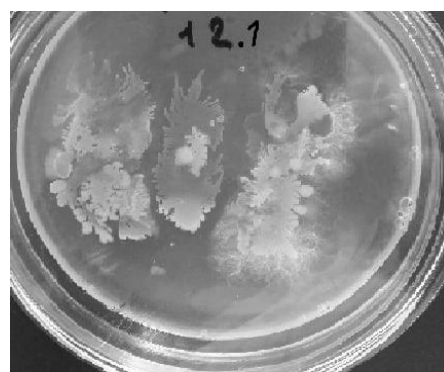


Рис. 2. Рост колоний на МПА в чашке Петри (состав №12, образец 1)

Результатом микробиологических исследований являются грам (-) палочки, а также гриб рода *Mucor* на образцах состава № 12 и бездобавочном.

Анализ результатов исследования

Жизнедеятельность микроорганизмов имеет тесную взаимосвязь с окружающей средой. Соответственно, при перемене условий внешней среды происходит изменения функционирования клетки микроорганизма [11].



Температура является одним из главных факторов, которая определяет возможность и интенсивность размножения микроорганизмов.

Климат на территории Республики Мордовия умеренно континентальный (с тёплым летом). Средняя температура для января -9°C , для июля $+18^{\circ}\text{C}$.

Бактерии и грибы по отношению к температуре делят на психрофилы (холодолюбивые), мезофилы (выбирают средние температуры), термофилы (теплолюбивые) [12–14]. Данное разделение является условным, поскольку микроорганизмы могут приспосабливаться к непривычным для них температурам.

К примеру, в ходе микробиологического исследования были выделены с поверхности разработанных составов грам (-) палочки и гриб рода *Mucor*.

Оптимальная температура роста идентифицированных грамотрицательных палочковидных бактерий составляет 37°C , грибы рода *Mucor* (белая плесень) хорошо функционируют при $5 - 25^{\circ}\text{C}$. Таким образом, выявленные микроорганизмы, вероятнее всего, мы можем отнести к группе мезофилов.

На жизнедеятельность бактериальной клетки большое влияние оказывает влажность среды. Вода содержится в клетках и удерживает тургорное давление в них. К тому же, питательные вещества попадают внутрь клетки только в растворенном состоянии. Микроорганизмы размножаются лишь в среде, имеющей свободную воду [14]. Обезвоживание субстрата вызывает состояние анабиоза у микроорганизмов. Минимальная влажность субстрата для большинства бактерий составляет $20 - 30\%$, грибы же начинают формироваться при влажности выше 75% , оптимум – 90% и выше.

Если говорить о кислотности среды, то она имеет огромное значение для процессов жизнедеятельности, как бактерий, так и грибов. Оптимальными для роста бактерий являются нейтральные или слабощелочные среды ($\text{pH} = 7,0 \dots 7,5$), для грибов, в основном, кислые ($\text{pH} 4,0 - 5,0$), но некоторые растут и в щелочной среде [4; 9].

Многие грибы размножаются благодаря спорам, которые достаточно легко переносятся по воздуху и оседают на различные поверхности. Споры устойчивы к критическим условиям и способны длительный период сохранять свои жизненные функции [8; 14]. Примером является выявленный в ходе микробиологического исследования гриб *Mucor*.

Бактериологический анализ штукатурных образцов, экспонированных 1 и 6 месяцев на площадке где, действовали переменные температуры, влажность, ветер, ультрафиолетовое излучение выявил грамотрицательные бактерии. Выделенные бактерии по определителю Берджи, вероятно, относятся к группе факультативно анаэробных грам (-) палочек [15]. Идентифицированные палочки имеют дыхательный тип метаболизма, соответственно они хорошо растут в воздушной среде, но также можно встретить в почве, корнях растений. Поскольку оптимальная температура роста выявленных

бактерий составляет 37°C , то мы можем говорить о их возможной патогенности. К биодеструкции разработанных материалов могут привести микроорганизмы из этой группы, с помощью биохимических процессов. Примером являются в работе [12; 16] бактерии рода *Escherichia*, *Salmonella*, *Proteus*.

Биодеградации материалов могут способствовать небольшие грамотрицательные палочки, которые, вероятнее всего, входят в род бактерий *Thiobacillus* [16]. Поскольку выявленные палочки способны производить окисления соединений серы и образовывать серную кислоту, соответственно они могут участвовать в биоразрушении. Бактерии рода *Pseudomonas*, например, также могут принимать участие в биоразрушении.

На поверхности штукатурных образцов составов №12 и бездобавочного, согласно результатам микробиологического исследования, был выделен гриб рода *Mucor*. Появление грибов на поверхности образцов контрольного (бездобавочного) состава, скорее всего, произошло в результате отсутствия биоцидных добавок, т.е. они не вводились в штукатурную смесь, и поверхность материалов не обрабатывалась антисептиком. Поскольку данный гриб имеет достаточно широкое распространение в природе, то его появление вполне объяснимо. Для образцов состава №12 была использована антисептическая добавка DALI, которая была применена для обработки поверхности изготовленных образцов. Вероятнее всего, добавка менее эффективна, поскольку она не вводилась непосредственно в штукатурный раствор, что в результате привело к появлению данного вида микроорганизма на образцах состава №12, экспонированных 1 и 6 на площадке, где действовали переменные температуры, влажность, ветер, ультрафиолетовое излучение.

Грибы *Mucor* выделяют в среду небольшое количество кислот, например, яблочную, лимонную, щавелевую, согласно работе [8]. Белая плесень устойчива к агрессивным химическим веществам, низким температурам. Появлении ее, например, в бетоне или штукатурке, может в будущем привести к их деструкции [4].

Выводы

В данной работе изучена биологическая стойкость штукатурных составов. Согласно результатам микробиологического анализа проб образцов были выделены: грамотрицательные палочковидные бактерии, гриб рода *Mucor*.

Согласно морфологическим признакам, небольшие грамотрицательные палочки, предположительно, входят в род бактерий *Thiobacillus*. За счет окисления соединений серы и образования серной кислоты, выделенные грамотрицательные бактерии способны приводить к биоповреждениям материалы, ввиду того, что происходит окисление соединений серы и образуется серная кислота.



В биоразрушении штукатурных образцов могут участвовать бактерии рода *Pseudomonas*.

Гриб рода *Mucor* был выявлен на поверхности образцов состава №12 и контрольного (бездобавочного). Наиболее эффективный способ использования антисептической добавки DALI – непосредственное введение в штукатурный раствор. Обработка поверхности антисептиком является менее результативной, поскольку на образцах состава №12 была идентифицирована плесень. Появление белой плесени вполне объяснимо, поскольку образцы экспонировались в саду, а грибы рода *Mucor* встречаются в верхних слоях почвы, на органических остатках.

Подводя итоги, мы можем предположить, что идентифицированные микроорганизмы в данный период времени не наносят образцам биоповреждений, а введение антисептических добавок в определенном количестве дает возможность получить более устойчивые материалы к воздействию биодеструкторов.

Библиографический список

1. Дергунова, А. В. Экономический и экологический ущерб от биоповреждений / А. В. Дергунова, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве : материалы Третьей Международной научно-технической конференции, Саранск, 01 января – 31 2009 года / Российская академия архитектуры и строительных наук, Мордовский университет; Ответственный редактор Н. И. Карпенко. – Саранск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва", 2009. – С. 285-288. – EDN SIGNCR.
2. Sand W.; Microbial corrosion and its inhibition. In: Rehm H.J. (Ed.), Biotechnology, Vol. 10, 2nd ed., Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2001. P. 267-316.
3. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. Н. Богатова [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 7(33). – С. 23-31. – EDN PHGQPF.
4. Микробиологическое разрушение материалов : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство" / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Е. А. Морозов [и др.]. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 128 с. – ISBN 978-5-93093-551-6. – EDN QNNIRR.
5. Микробиологическое исследование системы полимерного покрытия - бетонное основание, находящейся в условиях воздействия природно-климатических факторов / О. В. Ледяйкина, Н. В. Ледяйкин, М. М. Сударев [и др.] // Актуальные вопросы архитектуры и строительства, Саранск, 23–24 декабря 2020 года. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – С. 335-340. – EDN UVPCPE.
6. The Effectiveness of Materials Different with Regard to Increasing the Durability / V. Erofeev, A. Dergunova, A. Piksaikina [et al.] // MATEC Web of Conferences, Tyumen, 27–29 апреля 2016 года. Vol. 73. – Tyumen: EDP Sciences, 2016. – P. 04021. – DOI 10.1051/mateconf/20167304021. – EDN WVVJSH.
7. Влияние старения вяжущих на их биологическую стойкость аннотация / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. Н. Богатова, В. Ф. Смирнов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 2(14). – С. 213-217. – EDN NUHSRT.
8. Соломатов, В. И. Биологическое сопротивление полимербетон / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, Е. А. Морозов // Строительные материалы. – 2001. – № 7. – С. 10-11. – EDN IBEBSH.
9. Ледяйкина, О. В. Исследование видового состава биодеструкторов цементных композитов, выявленных на образцах, выдержанных в условиях циклического воздействия температурно-влажностных сред / О. В. Ледяйкина, А. И. Родин, Д. Ю. Власов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – № 1. – С. 7-18. – DOI 10.25686/2542-114X.2021.1.7. – EDN QXNAAT.
10. Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders / V. Erofeev, D. Emelyanov, I. Tretiakov [et al.] // Solid State Phenomena. – 2016. – Vol. 871. – P. 33-39. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.33. – EDN URTUQL.
11. Строганов, В.Ф. Введение в биоповреждение строительных материалов: монография / В.Ф. Строганов, Е.В. Сагадеев. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014. – 200 с.
12. Cwalina B. Biodeterioration of Concrete. Architecture Civil Engineering Environment, 2008. No 1, P. 133-140.
13. Ледяйкина, О. В. Выявление основных биодеструкторов в образцах цементных композитов, выдержанных в суглинистых грунтах / О. В. Ледяйкина, Н. В. Ледяйкин, А. И. Родин // Актуальные вопросы архитектуры и строительства, Саранск, 23–24 декабря 2020 года. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – С. 340-352. – EDN OPWOBL.
14. Ледяйкина, О. В. Видовой состав микроорганизмов, выявленных на образцах цементных композитов, экспонированных в условиях воздействия ультрафиолетового облучения и циклически действующих температурно-влажностных факторов / О. В. Ледяйкина, А. И. Родин, Д. Ю. Власов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3(33). – С. 16-22. – DOI 10.35108/isvp20203(33)16-22. – EDN TZNZAF.
15. Определитель бактерий Берджи в 2 томах. Том 1 / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса // пер. с англ. под ред. акад. РАН Г.А. Заварзина. М.: Мир, 1997. 429 с.
16. Определитель бактерий Берджи. В 2 томах. Том 2 / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса // пер. с англ. под ред. акад. РАН Г.А. Заварзина. М.: Мир, 1997. 368 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2023_1_97

**ЭФФЕКТИВНЫЕ КРУПНОПОРИСТЫЕ КАРКАСЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО
ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО СВЯЗУЮЩЕГО И МЕСТНОГО ЛЕГКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ:
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ***

© Авторы 2023
SPIN: 8328-8930
AuthorID: 367456

ЛЕСНОВ Виталий Викторович
кандидат технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск)*

SPIN: 1583-1502
AuthorID: 758371

САЛИМОВ Руслан Наилевич
кандидат технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск)*

Аннотация. Приведены результаты проведенных исследований технологии изготовления и упруго-прочностных свойств крупнопористых каркасов, изготовленных на основе полимерного дисперсно-армированного связующего и местного легкого заполнителя.

Были получены эффективные дисперсно-армированные полимерные каркасы на керамзитовом гравии, имеющие достаточно широкие диапазоны прочности при сжатии, изгибе и начального модуля упругости. Разработанные составы каркасов могут применяться в современном строительстве как в качестве заготовок для последующего изготовления каркасных композитов, так и готовых материалов.

Ключевые слова: крупнопористые каркасы; полимерное дисперсно-армированное связующее; строительные материалы; строительные конструкции; легкий заполнитель

Для цитирования: Леснов В.В., Салимов Р.Н. Эффективные крупнопористые каркасы, полученные на основе полимерного дисперсно-армированного связующего и местного легкого заполнителя: технология изготовления, упруго-прочностные свойства, применение // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 97-100. doi:10.51608/26867818_2023_1_97.

Original article

**EFFECTIVE LARGE-PORE FRAMES PRODUCED ON THE BASIS OF A POLYMERIC DISPERSED
REINFORCED BINDER AND A LOCAL LIGHT AGGREGATE:
MANUFACTURING TECHNOLOGY, ELASTIC STRENGTH PROPERTIES, APPLICATION**

© The Author(s) 2023

LESNOV Vitaly Viktorovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

SALIMOV Ruslan Nailevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

Annotation. The article considers the results of the research of manufacturing technology and elastic-strength properties of large-pore frames, produced on the basis of a polymer dispersed-reinforced binder and a local light aggregate.



The authors obtained the effective dispersed-reinforced polymeric frameworks on expanded clay gravel that has sufficiently wide compression, bending and initial elastic strength ranges. The developed frame compositions can be used in modern construction as blanks for the subsequent production of frame composites, as well as finished materials.

Keywords: large-pore frames; polymer dispersed-reinforced binder; building materials; building structures; light aggregate

For citation: Lesnov V.V., Salimov R.N. Effective large-pore frames produced on the basis of a polymeric dispersed reinforced binder and a local light aggregate: manufacturing technology, elastic strength properties, application // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 97-100. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_97.

Высокопористые каркасы изготавливаются по технологии крупнопористых цементных бетонов, свойства которых и методы получения достаточно хорошо изучены [1-2].

Каркасы, получаемые на основе полимерных связующих, могут использоваться как формообразующая заготовка для дальнейшего получения каркасных композитов, так и в виде готового материала [3-4]. Например, при изготовлении каркасного композита высокопористый каркас пропитывают матричным высокоподвижным составом. Каркас является несущим остовом, воспринимает внешние нагрузки и во многом определяет физико-механические свойства каркасного композита. Такая технология изготовления позволяет получать строительные композиты на основе сочетания различных, порой даже несовместимых связующих, а также использовать оптимальные режимы перемешивания матрицы и каркасной смеси [5-6].

При использовании каркасов на основе пористых заполнителей в качестве готовых материалов (рис. 1), могут быть получены стеновые изделия и полы, имеющие небольшую среднюю плотность, улучшенные теплотехнические и звукоизоляционные характеристики, а также дренажные фильтрационные изделия [2, 5, 6]. Физико-механические свойства каркасов можно улучшить за счет введения в их состав дисперсной арматуры [3-4].

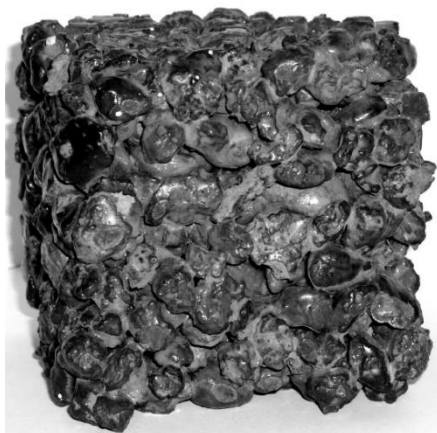


Рис. 1. Каркас на керамзитовом гравии

Исследование свойств каркасов проводили методом математического планирования эксперимента на плане Бокса В₃. В качестве варьируемых факторов

экспериментов, на относительных уровнях равных –1, 0 и +1, были приняты: x_1 – содержание разжижающей добавки (0, 10 и 20 м.ч.), x_2 – количество дисперсной арматуры (0, 15 и 30 м.ч.), x_3 – крупный заполнитель (600, 700 и 800 м.ч.). Количество полимерного связующего – эпоксидно-диановой смолы марки ЭД-20 и отвердителя – полиэтиленполиамины (ПЭПА), было постоянным и равным 100 м.ч. и 10 м.ч. соответственно.

В качестве разжижающей добавки использовали бензин марки Аи-92, крупного заполнителя – керамзитовый гравий фракции 5–10 мм (ОАО «ДСК», г. Саранск). Дисперсную арматуру получали из минеральной ваты типа Б (ОАО «Теплоизоляция», г. Саранск) путем ее измельчения до длины волокна 1–3 мм в роторной ножевой мельнице РМ-120.

Приготовление каркасной смеси осуществляли в следующем порядке: сначала получали клеевой состав, смешивая вяжущее с добавкой-разжижителем и дисперсной арматурой, после чего керамзитовый гравий перемешивали с клеевым составом до его равномерного обволакивания. Клеевой состав перемешивали в миксере, а крупный заполнитель – вручную. Время перемешивания в обоих случаях составляло 2 мин. Затем смесь укладывали в формы с размером ячеек 40×40×160 мм и уплотняли на встряхивающем столике 30 ударами. Через сутки образцы распалубливали и отверждали в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение 6 часов. Прочностные и деформативные свойства полимерных дисперсно-армированных каркасов определяли согласно ГОСТ 310.4 и ГОСТ 24452.

После статистической обработки экспериментальных данных, проверки гипотезы значимости коэффициентов и адекватности были получены математические модели прочностных и деформационных свойств каркасов:

$$R_b = 3,08 + 0,17x_2 - 0,60x_3 + 0,39x_1^2 - 0,84x_2^2 - 0,32x_1x_2 + 0,13x_2x_3, \quad (1)$$

$$R_{bti} = 0,96 + 0,17x_2 - 0,26x_3 + 0,13x_1^2 - 0,38x_2^2 + 0,12x_3^2, \quad (2)$$

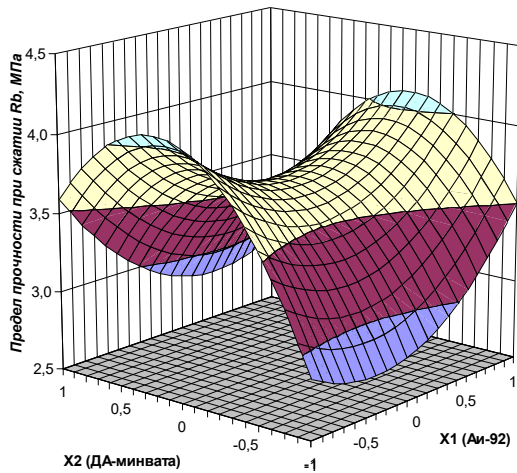
$$E_o = 332,9 + 23,0x_2 - 66,6x_3 + 51,5x_1^2 - 114,5x_2^2 - 29,9x_1x_2 + 43,2x_2x_3, \quad (3)$$

где R_b , R_{bti} и E_o – предел прочности при сжатии, растяжении при изгибе и начальный модуль упругости, МПа.

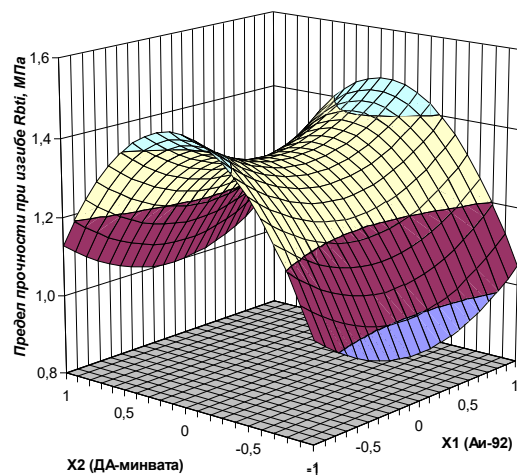
Графики изменения прочности и модуля упругости каркасов, построенные по математическим моделям (1–3), показаны на рисунках 2–4.



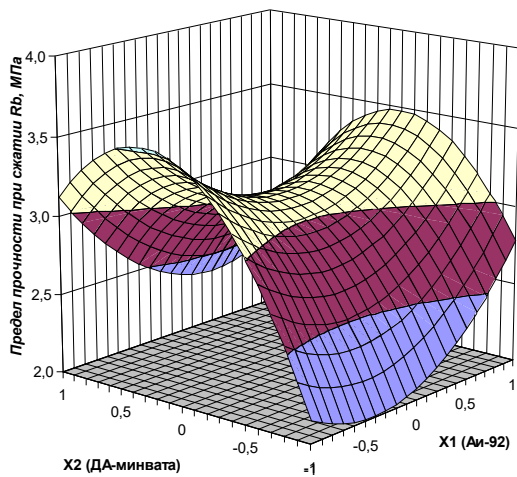
а



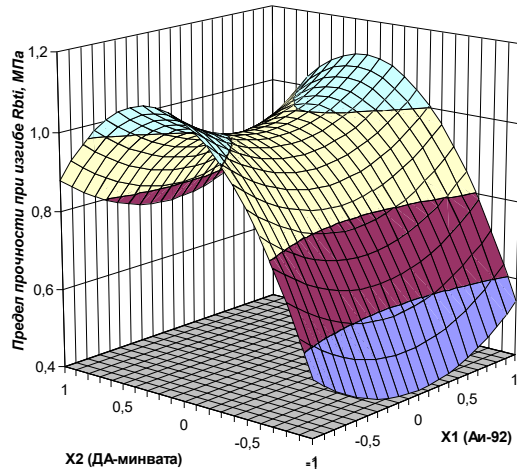
а



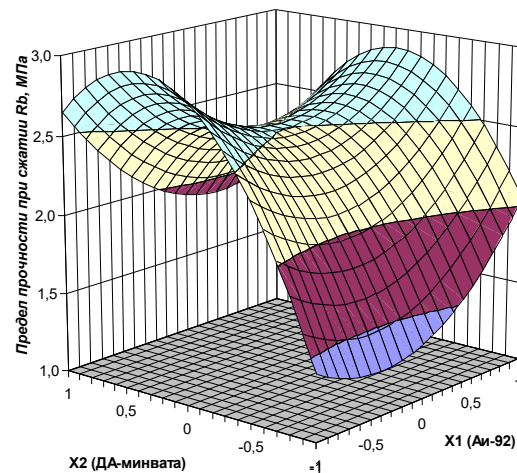
б



б



в



в

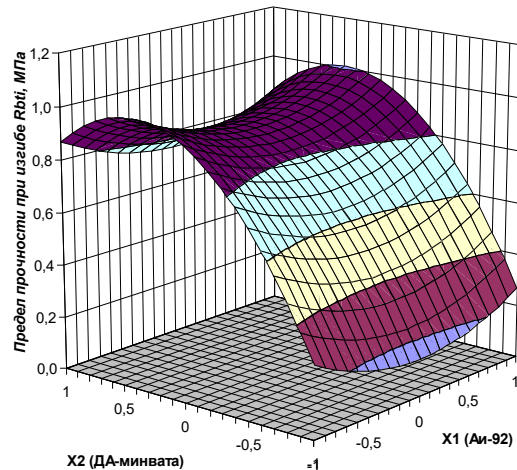


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии полимерного каркаса от количества добавки-разжижителя (фактор x_1) и дисперсной арматуры (фактор x_2):
а – содержание керамзитового гравия 600 м.ч. (фактор $x_3 = -1$), б – 700 м.ч. ($x_3 = 0$), в – 800 м.ч. ($x_3 = +1$)

Рис. 3. Изменение предела прочности при изгибе полимерного каркаса от количества добавки-разжижителя (фактор x_1) и дисперсной арматуры (фактор x_2):
а – содержание керамзитового гравия 600 м.ч. (фактор $x_3 = -1$), б – 700 м.ч. ($x_3 = 0$), в – 800 м.ч. ($x_3 = +1$)

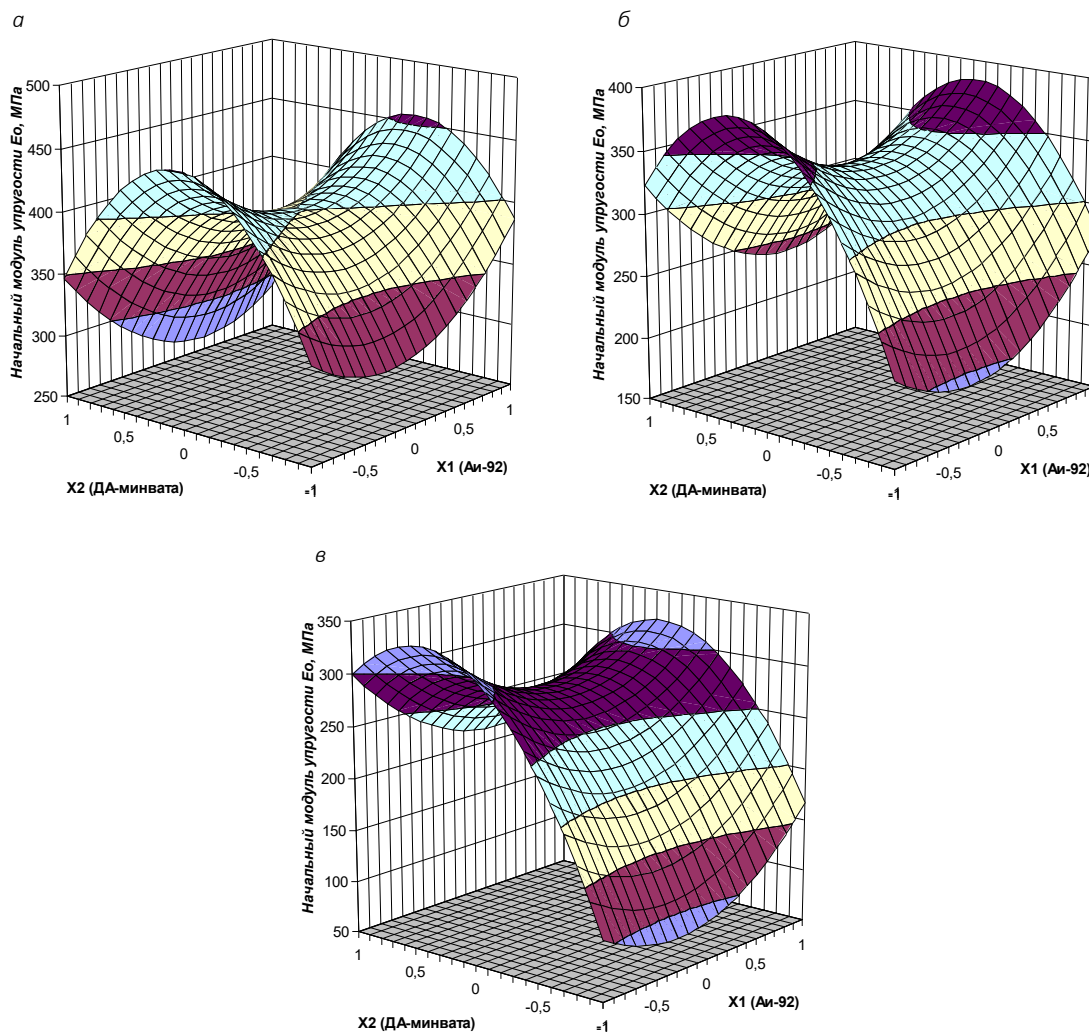


Рис. 4. Изменение начального модуля упругости полимерного каркаса от количества добавки-разжижителя (фактор x_1) и дисперсной арматуры (фактор x_2):

а – содержание керамзитового гравия 600 м.ч. (фактор $x_3 = -1$), *б* – 700 м.ч. ($x_3 = 0$), *в* – 800 м.ч. ($x_3 = +1$)

В результате проведенных исследований получены эффективные дисперсно-армированные полимерные каркасы на керамзитовом гравии, имеющие достаточно широкие диапазоны прочности при сжатии, изгибе и начального модуля упругости равные соответственно 1,3–4,1, 0,3–1,5 и 80–450 МПа. Разработанные составы каркасов могут быть использованы как в качестве заготовок для последующего изготовления каркасных композитов, так и готовых материалов при получении различных дренажных фильтрационных изделий, стеновых материалов и полов с улучшенными теплотехническими и звукоизоляционными свойствами.

Библиографический список

1. Ицкович С. М. Крупнопористый бетон (технология и свойства). – М.: Стройиздат, 1977. – 117 с.

2. Рекомендации по технологии крупнопористого бетона. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1980. – 27 с.

3. Ерофеев, В. Т. Каркасные строительные композиты : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ерофеев Владимир Трофимович. – Москва, 1993. – 51 с. – EDN ZJHEOZ.

4. Каркасные строительные композиты : В 2-х частях / В. Т. Ерофеев, Н. И. Мищенко, В. П. Селяев, В. И. Соломатов. Том Часть 1. – Саранск : Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 1995. – 200 с. – EDN RUUGTH.

5. Опыт применения композиционных материалов в сельскохозяйственном и промышленном строительстве / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев [и др.]. – Саранск, 1986. – 68 с.

6. Технология изготовления полов и покрытий каркасной структуры / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев [и др.]. – Саранск, 1987. – 52 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Обзорная статья

УДК 69; 624.21/.8

ГРНТИ: 67: Строительство. Архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_1_101

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВТОРИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА
В МОСТОСТРОЕНИИ. ПЕРВЫЕ В МИРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ МОСТЫ
ИЗ ТЕРМОПЛАСТИКА ВТОРИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

© Авторы 2023

SPIN: 2053-5567

AuthorID: 2922

ОВЧИННИКОВ Игорь Георгиевич

академик Российской академии транспорта, д-р техн. наук, профессор

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.

(Россия, Саратов);

Тюменский индустриальный университет (Россия, Тюмень)

АНШВАЕВ Адиль Кайрулович

аспирант

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.

(Россия, Саратов)

Аннотация. В статье рассматривается применение полимерных материалов вторичного производства в мостостроении. Описывается технология зарубежный опыт их применения в мостостроении – реконструкция старых мостовых сооружений. Так же в статье анализируется экономическая составляющая строительства при использовании строительных материалов из отработанного пластика и их воздействие на окружающую среду.

Цель статьи обратить внимание на необходимость пересмотра оценки текущего состояния экологической ситуации в мире, в связи с всевозрастающим уровнем загрязнения окружающей среды пластиковыми отходами хозяйственной деятельности и показать один из путей решения указанной проблемы – вторичная переработка отработанного пластика, последующее создание конкурентоспособных строительных материалов и изделий, которые дают реальную возможность ускорить процесс сооружения мостовых конструкций и облегчить эксплуатацию мостов в будущем.

Ключевые слова: полимер; железнодорожные мосты; свая; устойчивость; полиэтилен высокой плотности; строительство; термопласт вторичного производства; балка; мостостроение

Для цитирования: Овчинников И.Г., Аншваев А.К. Применение полимерных материалов вторичного производства в мостостроении. Первые в мире железнодорожные мосты из термопластика вторичного производства // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 101-105. doi:10.51608/26867818_2023_1_101.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

WORLD'S FIRST RAILWAY BRIDGES MADE WITH SECONDARY THERMOPLASTIC

© The Author(s) 2023

OVCHINNIKOV Igor Georgievich

Academician of the Russian Academy of Transport,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin
(Russia, Saratov);
Industrial University of Tyumen
(Russia, Tyumen)

ANSHVAEV Adil Kairulovich

PhD Candidate
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin
(Russia, Saratov)

Annotation. The article considers the use of polymer materials of secondary production in bridge construction. The technology of their foreign experience in bridge construction-reconstruction of old bridge structures is described. The article also analyzes the economic component of construction when using building materials made of waste plastic and their impact on the environment. The purpose of the article is to pay attention to the need to revise the assessment of the current state of the environmental situation in the world, in connection with the increasing level of pollution of the environment by plastic waste management and to show one of the ways of solving the stated problem: recycling of waste plastic, followed by the creation of competitive building materials and products, which provide a real opportunity to accelerate the construction of bridge structures and facilitate the operation of bridges in the future.

Keywords: polymer; railway bridges; piles; stability; high density polyethylene; construction; secondary thermoplastic; beam; bridge construction

For citation: Ovchinnikov I.G., Anshvaev A.K. World's first railway bridges made with secondary thermoplastic // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 101-105. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_101.

Введение

В настоящее время, на рынок выходят все более передовые строительные материалы, призванные удовлетворить такие потребности как долговечность, устойчивость, ускоренное строительство и экологически чистые продукты. Одним из таких новых и перспективных материалов является термопласт вторичного производства на основе полиэтилена высокой плотности (HDPE). Он появился на рынке США в начале 1990-х годов. Совместно с учеными из Университета Рутгерса производственная компания Axion International смогла произвести термопластичный композитный материал, состоящий на 100% из переработанных бытовых и промышленных пластиков, которые в противном случае были бы выброшены на свалку [1].

Термопластический композит был впервые использован для производства железнодорожных шпал, а затем его применение распространилось и на мосты. Весной 2010 года в Форт-Юстисе, штат Вирджиния, США, были построены первые в мире железнодорожные мосты из термопластика. Все основные компоненты моста, включая пролетное строение, опоры, шпалы и даже сваи, изготовлены из термопластичного материала вторичного производ-

ства. Мосты были рассчитаны на нагрузку AREMA Соопер E60 (максимальная нагрузка на ось 27216 кг) и переменную динамическую нагрузку 118 тонн на четырех осях [2-5].

Описание проекта

Транспортная инфраструктура армии США в Форт-Юстисе, штат Вирджиния, имела два стареющих деревянных железнодорожных моста, первоначально построенных в 1952 году. Было установлено, что мосты, пересекающие поток, не могут поддерживать работоспособность проходящей по ним железной дороги. Мост № 3 получил оценку Соопер E25 (максимальная нагрузка на ось 11340 кг), а мост № 7 – Соопер E19 (максимальная нагрузка на ось 8618 кг) [6-9].

Соответственно, мосты было необходимо было заменить, и владелец моста – армия США, искала надежное и экономичное решение. Так как мост из термопластика успешно конкурирует с другими мостами из обычных строительных материалов, было принято решение построить мосты из термопласта, полученного из переработанного пластика.

Все существующие пролетные строения, шпалы и опоры были заменены элементами из тер-



мопластичных материалов вторичного производства. Существующие деревянные опоры были сохранены для экономии средств по просьбе армии США [9].

Схема моста

Мост № 3 представляет собой четырехпролетную неразрезную конструкцию длиной 11,7 м над неглубоким ручьем, как показано на рис.1. Он состоит из двух концевых и трех промежуточных опор. Длина пролетов варьируется от 2,4 до 2,9 метра. Фундамент состоит из шести свай на концевых и промежуточных опорах. Из шести свай на промежуточных опорах две крайние сваи забиты под наклоном 1:6 в поперечном направлении, две – под наклоном 1:6 в продольном направлении и оставшиеся две средние сваи вертикальные. Все сваи представляют собой термопластичные сваи диаметром 300 мм.



Мост № 7 представляет собой восьмипролетную конструкцию длиной 25,6 м через ручей, как показано на рис. 2. Он состоит из двух концевых и семи промежуточных опор. Береговые опоры поддерживаются в общей сложности шестью вертикальными сваями диаметром 300 мм из термопластика, а промежуточные опоры поддерживаются шестью вертикальными забитыми сваями. Балка состоит из двух трехпролетных неразрезных блоков и одного двухпролетного неразрезного блока. Пролеты варьируются от 2,9 до 3,5 метров [2, 6, 7].

Поперечное сечение

Пролетное строение состоит из двух групп двутавровых балок толщиной 450 мм с закрывающими панелями толщиной 75 мм, закрепленными поверх верхних полок, как показано на рис. 3. Каж-

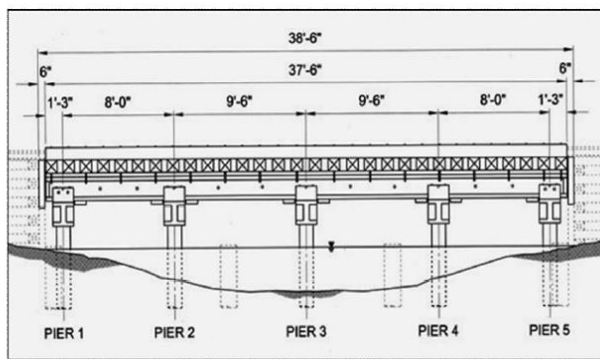


Рис. 1. Мост № 3 в Форт-Юстисе – источник [2]

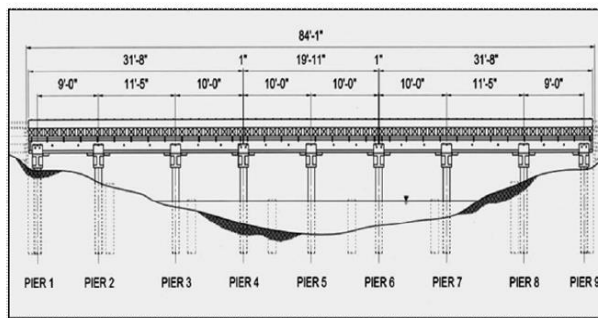


Рис. 2. Мост № 7 в Форт-Юстисе – источник [2]

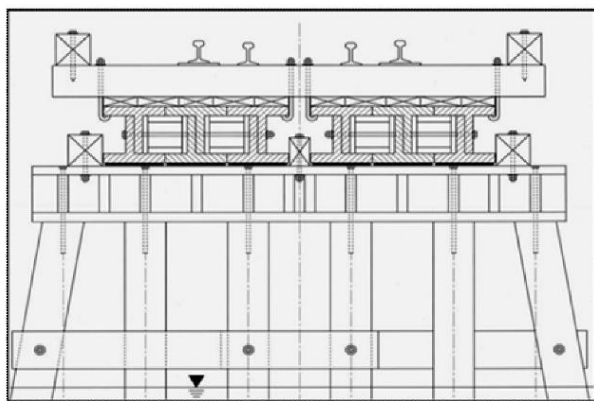


Рис. 3. Поперечное сечение и ход строительства моста – источник [2, 10]



дая группа балок поддерживает один рельс и состоит из трех двутавровых балок толщиной 450 мм. Каждая двутавровая балка состоит из двух тавровых балок, склеенных и скрепленных болтами попарно. Из-за ограничений производственного процесса цельный кусок 450-мм двутавровой балки в то время был недоступен.

Пролетное строение опирается на опорные части из эластомера. Перемещение балки в поперечном направлении и в продольном – за пределы значений теплового расширения, ограничивается фиксаторами. Балки усилены накладками в верхней части, которые представляют собой термопластичные доски размерами 75 мм x 300 мм и 75 мм x 250 мм,

2,5. Так как свая изготавливается длиной 13,5 м, для забивки свай на обоих мостах на нужную глубину применялось наращивание свай [2, 5-7].

Опорные части из эластомера

Чтобы равномерно распределить временную нагрузку от балок на оголовок опоры, на каждой опоре были предусмотрены опорные части из эластомера толщиной 25,4 мм (рис. 5). Использовались опорные части размером 180 мм x 430 мм и 230 мм x 430 мм. Твердость материала была выбрана 50 условных единиц по Шору, а максимальное отклонение габаритов опорной части допускалось 1 мм [2-5; 7-8; 11].

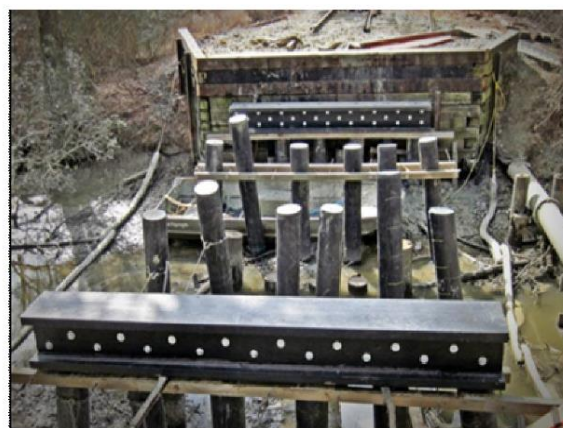


Рис. 4. Забивка свай и резка свай до заданной отметки – источник [2, 10]

приклеенные к балкам и привинченные к ним. Рельсовые шпалы из термопласта передают нагрузку с рельсов на балки и соединяются с балками J-образными болтами [2, 6, 7].

Ряд небольших 300-миллиметровых двутавровых балок вставлен во внутреннее пространство этого трехбалочного кластерного блока с поперечными болтами для обеспечения единого взаимодействия между тремя балками. Панели покрытия, расположенные поверх верхних полок двутавровых балок толщиной 450 мм, усиливают основные элементы конструкции и ограничивают прогиб в пределах желаемого диапазона $L/600$, где L – длина пролета.

Оголовки свай также состоят из 450-миллиметровых двутавровых балок, усиленных несущими ребрами жесткости. Оголовки свай поддерживаются сваями из термопластика диаметром 300 мм, соединенными шпильками из нержавеющей стали диаметром 25 мм.

Сваи были забиты в грунт на глубину от 13,5 до 20 метров на мосту № 3 и в среднем на глубину 20,5 метра на мосту № 7. Каждая свая была забита для достижения минимальной допустимой реакции сваи 15,4 тонны с коэффициентом запаса прочности



Рис. 5. Опорные части из эластомера – источник [12]

Заключение

Ежегодно во всем мире выбрасывается 90 миллионов тонн пластика, поэтому огромные запасы переработанного материала будут по-прежнему доступны для использования в качестве строительного материала в неопределенном будущем. Это решение, практически не требующее технического обслуживания, дает возможность обеспечить более дли-



тельный срок службы мостовых сооружений, а также значительно снизить затраты на эксплуатацию мостов в течение жизненного цикла.

Изделия из термопластов прошли долгий путь за 20 лет благодаря усовершенствованию материалов и применений. Они использовались для изготовления более чем 200 000 железнодорожных шпал и стрелочных переводов. Их применение было распространено на мосты, по которым перевозится военная техника, проходит железнодорожное и автомобильное сообщение. Предположения, которые возникали при проектировании мостов в Форт-Брэгге и Форт-Юстисе были подтверждены приборами и мониторингом. Многие другие направления применения материалов из переработанного пластика постоянно исследуются.

Изделия из термопласта дают множество преимуществ в вопросе экологии благодаря возможности повторного использования материала, выброшенного на свалку, что в противном случае было бы вечным, неразлагающимся пластиком. Этот пластик не подвержен коррозии и гниению, а также не подвержен деструкции насекомыми или морскими организмами, при этом обеспечивает ускоренное строительство с минимальным обслуживанием. Его использование, несомненно, будет расширяться, поскольку постоянно предпринимаются дополнительные исследования и разработки для улучшения свойств вторичных материалов и технологий их производства.

В статье [13] рассмотрено воздействие пластиковых отходов на окружающую среду, способы их утилизации и проблемы выделения из общего числа отходов. Описывается технология их вторичной переработки, а также свойства полученных материалов, их плюсы и минусы относительно аналогов из традиционных материалов (бетон, сталь и дерево). Так же в статье анализируется экономическая составляющая строительства при использовании строительных материалов из отработанного пластика и их воздействие на окружающую среду. Приводится сравнение материалов из первичных полимеров и полимерных материалов вторичного производства. Показано, как обстоят дела с утилизацией отходов пластика за рубежом и в России, какие прорабатываются системы для улучшения и оптимизации процесса утилизации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.

Библиографический список

1. Lynch J.K. Polystyrene/Polyethylene Composite Structural Materials / Lynch J.K., Nosker T.J., Renfree R.W. // The Center of Advanced Materials via Immiscible Polymer Processing - Vol. 1 –2002 - PP.11.
2. Dana Finney. Recycled plastic bridge at Fort Bragg stands up to M-1 traffic / Dana Finney // DPW Digest – July – 2009 – PP. 5.
3. Breslin, V.T., Senturk, U., Berndt, C.C. Long-term engineering properties of recycled plastic lumber in pier construction. // Resources, Conservation and Recycling. - 23 (1998) – PP. 243–258.
4. <https://engineeringcivil.org/articles/bridge/hl-93-aashto-vehicular-live-loading-truck-tandem-design-lane-load/> - дата обращения 07.06.2022г.
5. Richard Lampo. Development and Testing of Recycled Plastic Lumber Materials for Construction Applications / Richard Lampo, Thomas Nosker // USACERL Technical Report 97/95 - US Army Corps of Engineers – PP. 93.
6. Thomas Nosker. The Utilization of Recycled Thermoplastic Composites for Civil and Military Load Bearing Applications, in Fiber Reinforced Polymer Composites for Infrastructure Applications/ Thomas Nosker, Jennifer K. Lynch, Richard Lampo // Springer – 2011-PP. 26.
7. Ms. Lisa Miles Jackson, Dr. Thomas J. Nosker. Technology, Applicability, and Future of Thermoplastic Timbers/ Ms. Lisa Miles Jackson, Dr. Thomas J. Nosker // Springer – 2000 - PP. – 13.
8. US Patent 9340666. Use of recycled plastics for structural building forms / Lynch, J., Nosker, T., Lehman, R., Idol, J.D., Van Ness, K., Renfree, R.W.; Rutgers, State University of New Jersey. - May 17, 2016-PP.7.
9. Kim J, Chandra V., Nosker T.J. Sustainable Bridge Solutions using Recycled Plastics / Kim J, Chandra V., Nosker T.J. // Proceedings of International Bridge Conference, Pittsburgh, PA – 2011 -PP.15.
10. Fan, B. Creep Prediction for Polymer: Implementation and its Application on a Talc Filled Polypropylene / Fan, B., and Novak G. E. // Proceedings, Society of Plastics Engineers 2006 ANTEC Conference, Society of Plastics Engineers, Charlotte, NC – 2006 - PP.10.
11. Lynch J.K. Creep Prediction Using The Non-Linear Strain Energy Equivalence Theory / Lynch J.K., Nosker T.J., Renfree R.W. // SPE-ANTEC Technical Papers – 2004 - PP.6.
12. http://russian.alibaba.com/Popular/CN_natural-rubber-pads-Trade.html - дата обращения 09.06.2022г.
13. Аншваев, А. К. Полимерные материалы вторичного производства в мостостроении / А. К. Аншваев, И. Г. Овчинников // Транспортные сооружения. – 2022. – Т. 9, № 2. – DOI 10.15862/06SATS222. – EDN KKSOWR.



Научная статья

УДК 691.3

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_106

ГИПСОВЫЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ДОБАВОЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

© Авторы 2023

SPIN: 5987-6237

AuthorID: 407660

ORCID 0000-0002-5412-5576

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры ПСК
Тверской государственной технической университет
(Россия, Тверь)

ЗАВАДЬКО Мария Юрьевна

кандидат технических наук
Тверской государственной технической университет
(Россия, Тверь)

Аннотация. Разработка конкурентоспособных бесцементных материалов и изделий, отвечающих современным требованиям по качеству, эксплуатационным характеристикам, эффективности и безопасности является одной из актуальных задач строительного материаловедения на современном этапе развития строительной отрасли.

Тем не менее, проблематика проектирования оптимальных структур материалов на основе именно гипсового вяжущего до сих пор занимают второстепенные позиции.

Цель данной работы – разработка гипсовых дисперсно-армированных композиций на основе ресурсов местной сырьевой базы в виде техногенного базальтового порошка с применением комплексного подхода к проектированию их структуры.

Проведенные исследования доказывают целесообразность применения технологии контактно-конденсационного твердения для изготовления гипсовых дисперсно-армированных композитов с добавочным комплексом на основе техногенных отходов для улучшения прочностных и эксплуатационных характеристик и снижения затрат при их производстве.

Ключевые слова: строительные материалы; гипсовое вяжущее; гипсовые дисперсно-армированные композиции; техногенные отходы; модифицированный гипсовый камень

Для цитирования: Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю. Гипсовые дисперсно-армированные композиции с добавочным комплексом на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 106-110. doi:10.51608/26867818_2023_1_106.

Original article

GYPSUM DISPERSED REINFORCED COMPOSITIONS WITH AN ADDITIVE COMPLEX BASED ON TECHNOGENIC WASTE

© The Author(s) 2023

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna

doctor of technical sciences, associate professor
Tver State Technical University
(Russia, Tver)

ZAVADKO Maria Yurievna

candidate of technical sciences
Tver State Technical University
(Russia, Tver)

Annotation. Development of competitive cement-free materials and products that meet modern requirements in quality, performance, efficiency and safety is one of the topical issues of construction materials science at the current stage of development of the construction industry.



However, the problem of designing optimal structures of materials based on gypsum binder still occupies secondary positions. The aim of this work is the development of gypsum dispersed-reinforced compositions on the basis of resources of the local raw materials in the form of technogenic basalt powder, with the application of an integrated approach to the design of their structure. The conducted studies prove the expediency of the application of contact-condensation hardening technology for the manufacture of gypsum dispersed reinforced composites with an additive complex based on technogenic waste to improve strength and performance and reduce costs in their production.

Keywords: building materials; gypsum binder; gypsum dispersed reinforced compositions; technogenic waste; modified gypsum stone

For citation: Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.Yu. Gypsum dispersed reinforced compositions with an additive complex based on technogenic waste // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 106-110. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_106.

Гипсовое вяжущее обладает рядом преимуществ, однако зачастую достичь требуемых прочностных характеристик получаемых материалов и изделий на его основе может позволить лишь планомерное проектирование композиций, исходя из особенностей каждого компонента. Вопросы важности планомерного управления и проектирования структуры композитов для достижения требуемых характеристик поднимались в работах Д.Н. Коротких, Е.М. Чернышова [1-2], И.А. Чакурина [3]. Методология проектирования оптимальных структур цементных бетонов подробно изложена в трудах В.В. Белова и И.В. Образцова [4-5].

Однако, вопросы проектирования оптимальных структур материалов на основе именно гипсового вяжущего до сих пор занимают второстепенные позиции и не освещены в полной мере на сегодняшний день. Посредством проведения оптимизации гипсовых дисперсных модифицированных систем, исходя из расчета их топологических характеристик, на первом этапе с помощью компьютерного моделирования, возможно достичь не только наиболее плотной упаковки частиц при проектировании модифицированных гипсовых вяжущих, но и увеличения количества контактов в процессе структурообразования вяжущего. В свою очередь на следующем этапе каждый компонент может быть исследован с позиций его физико-химической роли [6].

Целью проведения исследований являлась разработка гипсовых дисперсно-армированных композиций на основе ресурсов местной сырьевой базы в виде техногенного базальтового порошка с применением комплексного подхода к проектированию их структуры.

В целях получения гипсовых композиций с повышенными физико-механическими характеристиками при проведении исследований на первом этапе рассматривались особенности влияния на гипсовое вяжущее техногенного базальтового порошка как механического агента – высокодисперсного наполнителя. Известно, что микро- и нанодисперсные наполнители в составе минеральных вяжущих посредством формирования наиболее плотных упа-

ковок частиц и увеличения количества контактов способствуют повышению прочности получаемого камня [7-12]. Роль базальтового порошка как механического агента в формировании структуры гипсового камня обуславливает при проектировании и разработке дисперсно-армированных композиций необходимость проведения первого этапа – компьютерного моделирования, позволяющего, исходя из формы и размеров частиц, спрогнозировать получение наиболее плотных упаковок и выявить оптимальную гранулометрию получаемых многокомпонентных дисперсных систем. В работах В.В. Белова отмечается в первую очередь практическая эффективность применения специальных расчетных методик и компьютерного моделирования, как этапов проектирования строительных материалов, позволяющая из набора компонентов реальной гранулометрии получать оптимальные составы [10-11].

При проведении исследований компьютерное моделирование дисперсно-армированных гипсовых композиций на основе техногенного базальтового порошка в целях формирования наиболее плотных зернистых систем проводилось с использованием программного комплекса на основе модифицированного метода Drop And Roll, разработанного на базе Тверского государственного технического университета [12]. Расчётный метод заключался в постепенном стохастическом заполнении частицами сферической формы единичного объёма упаковки по результатам которой были получены массивы центров сфер и произведены расчеты (рис. 1, табл. 1).

Эффективность полученных по результатам моделирования зерновых составов проверена экспериментально с применением математического планирования, где в качестве варьируемых выбраны факторы, определяющие процентное содержание базальтового порошка (X_1) и водотвердое отношение (X_2). Содержание базальтового порошка варьировалось от 8 до 12 % от массы гипсового вяжущего с шагом 2 % и водотвердое отношение – от 0,73 до 0,79 с шагом 0,03.

В результате проведенного эксперимента получены уравнения, описывающие совместное влия-

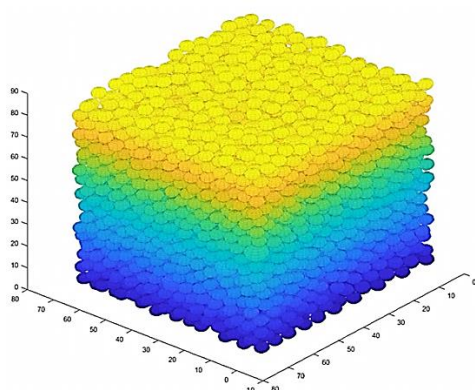


Рисунок 1 – Расчетная единичная ячейка для определения топологических характеристик бимодальных дисперсных гипсовых систем

Таблица 1 – Суммарное координационное число

Сфера, которой касаются	Сфера, которая касается	Сумм. коорд. ч.
Гипс. вяжущее	Гипс. вяжущее	5,86
Гипс. вяжущее	ТБП	0,23
ТБП	Гипс. вяжущее	10,90
ТБП	ТБП	0,35
Общее коорд. число		6,19

где:
ТБП – техногенный базальтовый порошок

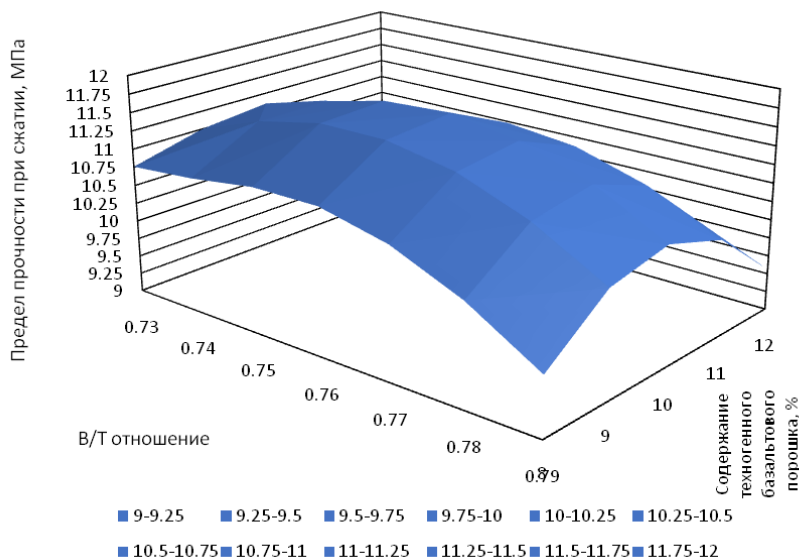


Рисунок 2 – Влияние В/Т и содержания техногенного базальтового порошка на предел прочности при сжатии гипсового камня на 7 сутки твердения

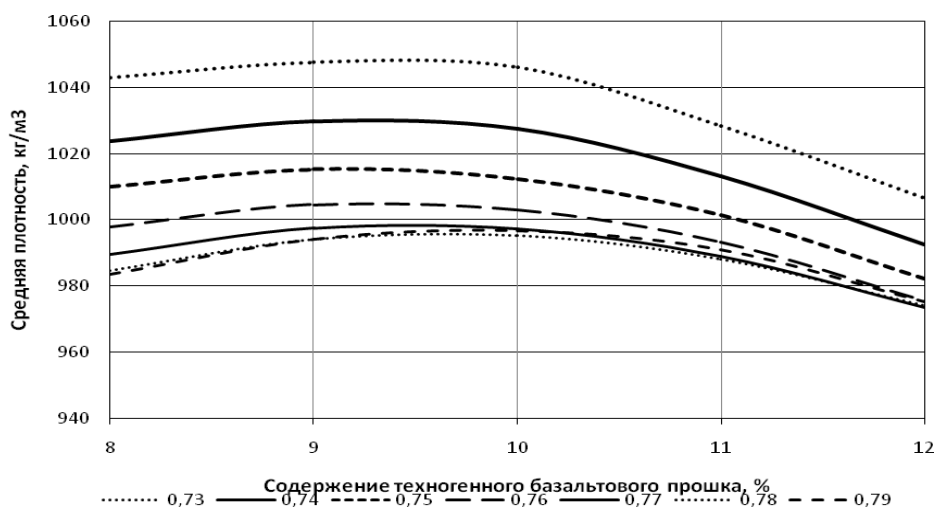


Рисунок 3 – Влияние В/Т отношения и содержания техногенного базальтового порошка на среднюю плотность гипсового камня на 7 сутки твердения



ние входных параметров на предел прочности при сжатии, среднюю плотность (1, 2). На их основе построены графики зависимостей прочности (рис. 2) и средней плотности (рис. 3) от содержания базальтового полидисперсного порошка.

$$Y(R_{сж})=f(X_1, X_2)=10,95-0,32 \cdot X_1+0,31 \cdot X_2+0,01 \cdot X_1^2-1,28 \cdot X_2^2+0,21 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

$$Y(\rho_{ср})=f(X_1, X_2)=1003,052-11,172 \cdot X_1-22,661 \cdot X_2+16,286 \cdot X_1^2+16,314 \cdot X_2^2-8,075 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

Установлено, что состав, оптимальный по критерию плотности упаковки, соответствует данным экспериментов по прочности. Оптимальное содер-

жащего. Техногенный базальтовый порошок способствует увеличению рН дисперсионной среды (табл. 2), что может приводить к повышению активности ионов Ca^{2+} , увеличению растворимости сульфата кальция и формированию дополнительных структурных связей на границе раздела фаз вяжущего и наполнителя.

Проведенные микроструктурные исследования гипсового камня с техногенным базальтовым порошком (рис. 4, слева) подтвердили повышение плотности упаковки гидратных фаз, которое обусловлено направленным подбором зернового состава смесей, а также активным формированием фазовых контактов на дефектной поверхности базальта с последующим «обрас-

Таблица 2 – рН водных растворов сульфата кальция и техногенного базальтового порошка

Содержание порошка, в % от массы вяжущего	6	8	10	12
рН водного раствора при $t=25^\circ C$	8,32	8,32	8,48	8,47

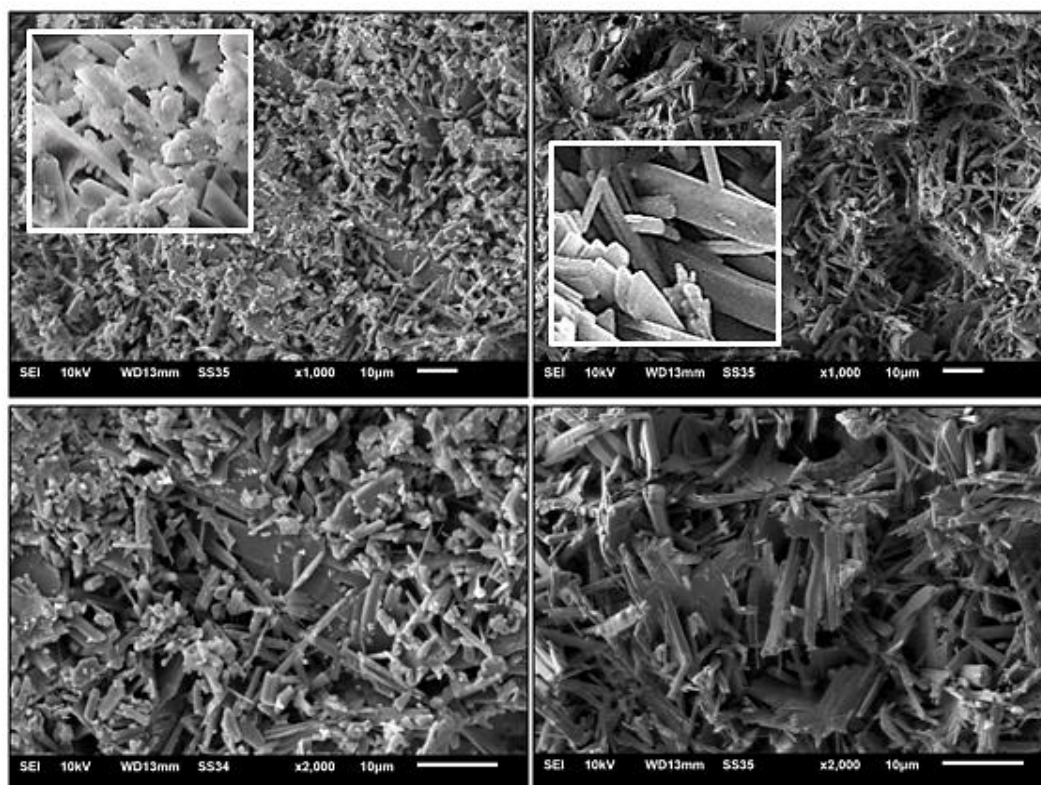


Рисунок 4 – Микроструктура модифицированного гипсового камня

жание базальтового порошка в количестве 10-11 %. Относительная погрешность расчета до 0,1 % позволяет говорить о близости полученных значений экспериментальных и расчетных данных, а незначительное расхождение результатов обусловлено шириной распределения частиц техногенного базальтового порошка, фактор формы (пологости) кривой распределения которого составляет 5,15 (рис. 4).

На втором этапе исследований оценивались возможности физико-химического взаимодействия техногенного базальтового порошка и гипсового вя-

жанием» зародыша контакта фазообразующим веществом, т.е. облегчением кристаллизации. Мелкокристаллическая структура гипсового камня способствует повышению его прочности.

Таким образом, проведенные эксперименты подтверждают целесообразность применения технологии контактно-конденсационного твердения для изготовления композитов с улучшенными прочностными и эксплуатационными характеристиками и повышенной долговечностью с целью улучшения их свойств и снижения затрат.



Библиографический список

1. Чернышов, Е. М. Высокотехнологичные высокопрочные бетоны : вопросы управления их структурой / Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких // Наука и инновации в строительстве - SIB - 2008 : материалы международного конгресса, Воронеж, 10–15 ноября 2008 года. Том 1, Книга 2 (О-Я). – Воронеж: ВГАСУ, 2008. – С. 616-620. – EDN YUINHU.
2. Чернышов, Е. М. Опыт системной экспериментальной оценки современных высокотехнологичных бетонов по комплексу критериев сопротивления разрушению / Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких // Бетон и железобетон. – 2021. – № 1(603). – С. 30-39. – EDN OXBSCJ.
3. Чакурин, И. А. Проектирование состава тяжелых бетонов с учетом средств структур / И. А. Чакурин, И. Л. Чулкова // Фундаментальные основы строительного материаловедения : Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, Белгород, 06–11 октября 2017 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 741-748. – EDN YLPFKP.
4. Белов, В. В. Методология проектирования оптимальных структур цементных бетонов / В. В. Белов, И. В. Образцов, П. В. Куляев // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 17-21. – EDN PXESYZ.
5. Белов, В. В. Методология проектирования оптимальных структур цементных бетонов / В. В. Белов, И. В. Образцов, П. В. Куляев // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 17-21. – EDN PXESYZ.
6. Казаков, Е. Г. О механизме повышения прочности тампонажного камня, содержащего алюмосиликатные микросферы / Е. Г. Казаков, Н. С. Карнеева, И. Ю. Пахаруков // Территория Нефтегаз. – 2008. – № 2. – С. 26-29. – EDN KTZUPF.
7. Топология измельченных микро- и нанодисперсных материалов различного минерального состава / А. Н. Хархардин, В. В. Нелюбова, А. Л. Попов, В. В. Строкова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 2(31). – С. 5-12. – EDN ZRETSL.
8. Хархардин, А. Н. Топологические свойства дисперсных материалов и других дискретных систем / А. Н. Хархардин, В. В. Нелюбова, В. В. Строкова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 10(682). – С. 100-109. – EDN VJKAEP.
9. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем / В. Б. Петропавловская, Т. Б. Новиченкова, В. В. Белов, А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 64-65. – EDN RDOIUR.
10. Белов, В. В. Оптимальные зерновые составы композиционных материалов с минеральными наполнителями / В. В. Белов, П. В. Куляев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2018. – № 5-6(232-233). – С. 18-21. – EDN XYNFFB.
11. Белов, В. В. Оптимизация гранулометрического состава сухой огнеупорной смеси методом компьютерного проектирования / В. В. Белов, И. В. Образцов // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства : международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика, Белгород, 15–16 марта 2016 года. Том Часть 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 102-110. – EDN WHQSKV.
12. Петропавловская, В. Б. Возможности моделирования в контексте анализа гранулометрии и плотности упаковки частиц при разработке строительных композиций, модифицированных отходами / В. Б. Петропавловская, М. Ю. Заватько, А. И. Корнеев // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2021 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е.Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2021. – С. 274-277. – EDN KFARQL.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Обзорная статья

УДК 699.84

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

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

2.1.9. Строительная механика; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_1_111

ВЛИЯНИЕ ВИБРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

© Автор 2023

SPIN: 1722-5529

AuthorID: 971084

ORCID: 0000-0003-4852-7891

ResearcherID: D-3742-2018

ПОВКОЛАС Константин Эдуардович

кандидат технических наук, доцент,

докторант кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»

Белорусский национальный технический университет

(Республика Беларусь, Минск, e-mail: K_Povkolas@mail.ru)

Аннотация. В статье приводится анализ различных подходов по ограничению вибродинамических воздействий на строительные конструкции зданий и сооружений. В большинстве исследований в качестве критерия влияния вибраций используют максимальную величину скорости колебаний фундамента при внешних воздействиях, которые распространяются в грунтовой среде. За последние 20 лет автором накоплен значительный массив опытных данных по воздействию вибраций на конструкции зданий и сооружений в различных грунтовых условиях. Измеренные величины скоростей колебаний сравнивались с предельными параметрами колебаний по действующим нормам ряда стран. По результатам этого анализа был выделен нормативный документ, совпадающий с данными измерений по характеру последствий воздействия вибраций.

Это нормативный документ, используемый в Великобритании. Определено безопасное расстояние при вибрационном погружении свай и шпунтовых металлических балок в грунт. Оно составляет 21 м. Выделены основные факторы, определяющие повреждение конструкций. К ним относятся инженерно-геологические условия грунта в основании фундаментов, подвергающихся воздействию, степень повреждения здания, тип и конструкция здания или сооружения, частота колебаний, продолжительность действия вибрации, расстояние до источника колебаний, вид источника колебаний, материал сооружения и тип фундамента.

На основании анализа факторов, определяющих повреждение конструкций, определены параметры здания или сооружения, менее чувствительных к вибродинамическим воздействиям и обладающего высокой эксплуатационной надежностью. Это здания и сооружения с железобетонным или стальным каркасом, размещенных на фундаментах из свай-стоек и расположенных на маловлажных крупных песках или полутвердых и твердых суглинках и глинах.

Ключевые слова: воздействия; вибрации; разрушение; строительство; скорость колебаний; эксперимент; нормирование; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Повколас К.Э. Влияние вибродинамических воздействий на здания и сооружения // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 111-115. doi:10.51608/26867818_2023_1_111.

Original article

INFLUENCE OF VIBRODYNAMIC EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES

© The Author(s) 2023

POVKOLAS Konstantin E.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate

Belarusian National Technical University

(Republic of Belarus, Minsk, e-mail: K_Povkolas@mail.ru)

Annotation. The article provides an analysis of various approaches to limiting vibrodynamic effects on the building structures. In most studies, as a criterion for the influence of vibrations, the maximum value of the foundation vibration velocity is used under external influences that propagate in the soil environment. Over the past 20 years, the author has accumulated a significant set of experimental data on the impact of vibrations on the structures in various soil conditions. The measured values of the oscillation velocities were compared with the limiting oscillation parameters according to the current standards of a number of countries. Based on the results of this analysis, a normative document was identified that coincided with the measurement data in terms of the nature of the consequences of vibration exposure. This is the normative document used in the UK. The safe distance is determined during vibration driving of piles and sheet piling metal beams into the ground. It is 21 m. The main factors that determine



the damage to structures are identified. These include the engineering and geological conditions of the soil at the base of the affected foundations, the degree of damage to the building, the type and design of the building or structure, the vibration frequency, the duration of the vibration, the distance to the vibration source, the type of vibration source, the material of the structure and the type of foundation. Based on the analysis of the factors that determine damage to structures, the parameters of a building or structure that are less sensitive to vibrodynamic effects and have high operational reliability are determined. These are buildings and structures with a reinforced concrete or steel frame, placed on pile-rack foundations and located on low-moisture coarse sands or semi-solid and hard loams and clays.

Keywords: impacts; vibrations; destruction; construction; vibration speed; experiment; regulation, safety of structures

For citation: Povkolas K.E. Influence of vibrodynamic effects on buildings and structures // Expert: theory and practice. 2023. No 1 (20). Pp. 111-115. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_111.

Введение

Развитие инфраструктуры городов, рост и модернизация промышленности приводит к увеличению вибрационной нагрузки на здания и сооружения, ускоряя процессы их физического износа. В ряде случаев, влияние вибродинамических воздействий может иметь более серьезные последствия в виде нарушения эксплуатационной пригодности строительных конструкций. В этой связи вопрос прогнозирования уровня вибраций и оценка его допустимости становится все более актуальным. Наибольшую опасность представляют такие процессы как забивка свай, вибропогружение и виброизвлечение шпунта, промышленные взрывы, работа кузнечных молотов и копров. Их негативное воздействие может проявляться внезапно – в течение долей секунд. Не меньшую опасность представляют длительно действующие источники с вибрациями меньшей интенсивности, такие как рельсовый транспорт, машины и механизмы с динамическими нагрузками, турбогенераторы тепловых электростанций. Их влияние менее заметно и выражается в виде длительного развития дополнительных осадок оснований фундаментов, вследствие виброползучести грунтов и усталостного разрушения материала конструкций в связи с постепенным накоплением дефектов. Кроме того, актуальной является и оценка степени физиологического воздействия вибраций на людей, а также механического воздействия на высокоточное оборудование.

Снижение стоимости строительства является приоритетным направлением развития строительной науки и техники. Модернизация и реконструкция промышленного производства предполагает размещение производственных мощностей и технологических линий в новых или существующих производственных помещениях и промышленной застройке. Возведение новых зданий и сооружений значительно увеличивает стоимость модернизации, снижая экономический эффект и срок окупаемости нового производства. Между тем, в Республике Беларусь имеется большое количество зданий и сооружений с остановленным производством на ремонт на содержание которых тратятся значительные средства. Зачастую, использование существующей про-

мышленной застройки ограничивается недостаточной несущей способностью и долговечностью строительных конструкций, которые не рассчитаны на восприятие интенсивных динамических воздействий от нового производства. В этой связи, возникает необходимость эффективного, надежного и экономичного усиления и виброизоляции существующих конструкций. Отсутствуют комплексные методы расчета колебаний строительных конструкций здания или сооружения, при воздействии одного или нескольких источников вибрации, расположенных в пределах объема здания (сооружения) и (или) вне него. Данный факт ограничивает возможности проектных организаций и приводит к применению завышенных коэффициентов безопасности, что увеличивает стоимость затрат как при новом строительстве, так и при реконструкции существующих зданий и сооружений.

В качестве основного критерия оценки влияния вибраций в большинстве стран принята пиковая величина скорости вертикальных колебаний фундамента или поверхности прилегающего к нему грунта. Наибольший вклад в вопросы влияния вибраций на здания и сооружения от различного технологического оборудования и транспорта в Беларуси сделан проф. Кудрявцевым И. А. [1]. В работе [2] рассматриваются механизмы влияния работы фундаментов под промышленные установки на прилегающие здания и сооружения. Влияние транспортной вибрации оценивается в работе [3]. К основным факторам, определяющим повреждение строительных конструкций зданий и сооружений, относятся частота колебаний и длительность воздействия, категория грунтовых условий, имеющиеся дефекты и повреждения, конструктивная схема строения и его функциональное назначение, характер источника вибрации и расстояние от него до строения. В данной работе преследовались следующие цели:

– выявление документа, наиболее соответствующим экспериментальным данным по оценке вибраций строительных конструкций, измеренным автором на объектах в РБ;

– определение факторов, влияющих на эксплуатационную надежность зданий и сооружений при вибрациях различной интенсивности;



– оценка необходимости реализации мероприятий по усилению оснований и фундаментов или виброизоляции.

Методология и обсуждение

Автором систематизированы данные по влиянию вибраций на здания и сооружения, принятые в различных странах, включая результаты исследований автора [10], с выделением зон, соответствующих наиболее вероятностному проявлению дефектов конструкций. По результатам анализа данных измерений [10], нормативной литературы [4; 6-7; 9] и различных [1-2; 8] исследований выделены следующие зоны:

- нормальной эксплуатации конструкций;
- возможного появления малозначительных дефектов конструкций;
- проявления значительных дефектов конструкций;
- появления критических дефектов конструкций, с вероятным разрушением конструкций.

Данный подход позволяет прогнозировать риски повреждения конструкций.

Оценку влияния вибрации на строительные конструкции необходимо выполнять для оценки вероятных негативных последствий в виде дефектов, снижающих эксплуатационные качества. Когда нега-

тивное воздействие неизбежно, следует разработать мероприятия по виброизоляции и (или) усилению конструкции или оснований фундаментов. Один из эффективных способов виброизоляции строения путем устройства виброизоляционного барьера в грунте описан в публикации [12].

Все известные подходы к нормированию параметров колебаний конструкций можно разделить на следующие группы.

1. Ограничение по динамическим прогибам покрытий и перекрытий [4];
2. Общее ограничение вибраций конструкций [5];
3. Ограничение по скорости вертикальных вибраций фундаментов [6; 8; 11];
4. Ограничение по горизонтальным смещениям стен [6];
5. Ограничение по допустимым напряжениям в дисках перекрытий и покрытий [6];
6. Ограничение по развитию деформаций грунтов [1; 7];
7. Ограничение по давлению на основание под фундаментом [7].

Автором выполнен сравнительный анализ данных по нормированию вибраций строительных конструкций [4-8] и собственных экспериментальных данных [10] по оценке воздействия вибраций на

Результаты измерения вибраций фундаментов существующих зданий и сооружений при вибродинамических воздействиях, передаваемых на них через грунтовую среду [10]

Конструктивная схема и функциональное назначение здания (сооружения)	Источник воздействия (расстояние до него от существующего фундамента)	Наличие и характер повреждений	Пиковое значение скорости вертикальных колебаний фундамента, $V_{пик}$ (мм/с)
2-х этажное жилое здание из газосиликата	Забивка свай (более 27 м)	Повреждений не отмечено	2,1
9-ти этажное жилое панельное здание	Забивка свай (более 30 м)	Повреждений не отмечено	2,5
Спортзал с покрытием из металлических ферм	Забивка свай (более 25 м)	Повреждений не отмечено	1,06
3-х этажный жилой кирпичный жилой дом	Вибропогружение шпунта (13м)	Малозначительные повреждения ограждающих и несущих конструкций	29
2-х этажный панельный детский садик	Вибропогружение шпунта (более 23 м)	Повреждений не отмечено	10
5-ти этажный жилой дом	Вибропогружение шпунта (более 21 м)	Повреждений не отмечено	13
2-х этажное каркасно-панельное здание библиотеки	Вибропогружение шпунта (около 7 м)	Малозначительные повреждения ограждающих конструкций	60
9-ти этажный панельный дом	Вибропогружение шпунта (25 м)	Повреждений не отмечено	7,5
Фундамент под турбину на ТЭЦ-3	Работа турбоагрегата ПТ-60	Многочисленные проявления дефектов, нарушающих нормальную эксплуатацию	1,6 – 13,8 по поверхности фундамента
2-х этажное каркасно-панельное здание магазина	Вибропогружение шпунта (3 м)	Значительные повреждения ограждающих конструкций	64
1-этажное каркасно-панельное производственное здание	Работа вибрационной испытательной платформы внутри здания	Повреждений не отмечено	5,49



строительные конструкции. Результаты экспериментальных исследований систематизированы и сведены в таблицу. Измерения скорости колебаний производились при помощи 4-х канального вибрo-анализатора ВИБРАН-3.2 в режиме вибросборщика с последующей обработкой данных при помощи специализированной программы на компьютере. Пьезометрические датчики устанавливались на фундаменты, покрытия и перекрытия зданий и сооружений вблизи источника вибраций, а также на поверхность грунтового основания у фундамента.

Сравнение собственных опытных данных [10], приведенных в таблице, с прочими исследованиями и нормативными документами по оценке влияния вибраций, позволила выявить норматив, совпадающий с натурными наблюдениями и наиболее достоверно описывающий последствия негативного воздействия вибраций (см. рис. 1). Это – национальный стандарт Великобритании [6]. Кроме того, описание повреждений различной степени в нем соответствует принятым в соответствующих ТНПА РБ. На рис. 1 нанесены в виде маркеров пиковые значения скорости вертикальных колебаний фундаментов зданий и сооружений, приведенные в таблице. Все они укладываются в диапазоны скоростей колебаний, принятых в исходном документе [6].

Из приведенных в таблице данных следует, что при расстояниях от ближайшего фундамента до источника колебаний более 21 м повреждений не наблюдалось. Данное расстояние можно считать безопасным.

Результаты

К основным факторам, определяющим риск повреждения конструкций, можно отнести следующие [10]:

1. *Инженерно-геологические условия грунта* в основании фундаментов. Этот фактор учтен в строительных нормах Беларуси и Норвегии. Различие в предельных параметрах вибраций составляет 3-7 раз соответственно для наиболее и наименее благоприятных грунтовых условий. Самыми чувствительными к воздействию вибраций являются водонасыщенные малопрочные мелкие пески и супеси с показателем консистенции 0,9 и более.

2. *Степень повреждения конструкций*. Учитывается в нормах РБ, Польши и Чехии. Разница в предельных параметрах колебаний для строений без повреждений и имеющих серьезные дефекты варьируется от 2 до 2,5 раз.

3. *Конструктивная схема здания или сооружения*. Учитывается в нормах РБ, Польши и Чехии,

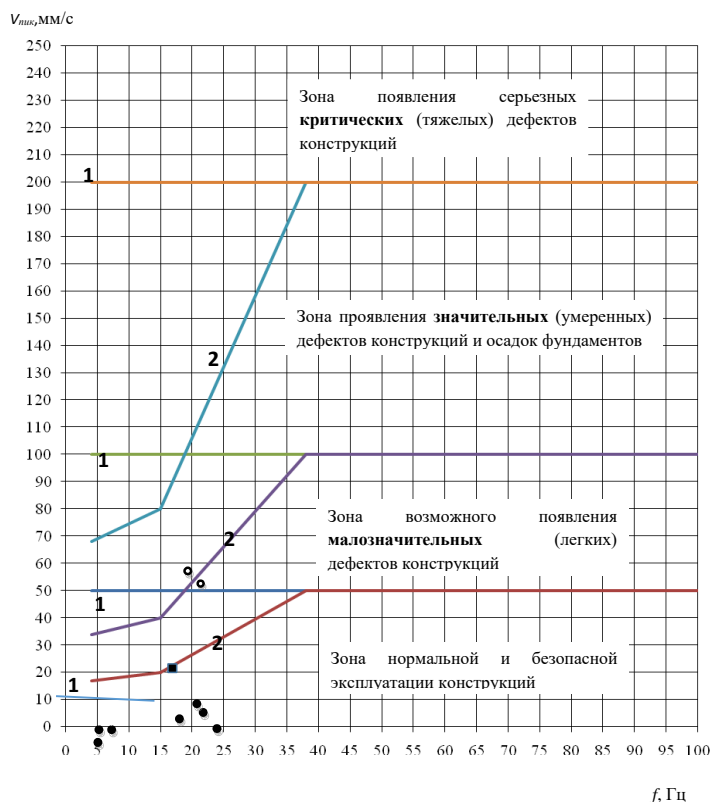


Рис. Зависимость пикового значения скорости на фундаменте здания $V_{\text{пик}}$ (мм/с) от частоты вынужденных колебаний f (Гц); 1 - здания категории 1 (здания делового назначения и производственные здания, имеющие каркасные или армированные конструкции); 2 - здания категории 2 (жилые здания и здания делового назначения, имеющих облегченную конструкцию, конструкции без армирования или с облегченным каркасом)



Германии, Британии и Норвегии. Предельные параметры колебаний для наименее и наиболее чувствительной конструктивной схемы строения варьируются от 3,4 до 6 раз.

4. *Частота колебаний.* Учитывается в нормах Польши, Чехии, США, Великобритании и Германии. При увеличении частоты от 1 до 100 Гц предельная скорость вертикальных колебаний изменяется в 1,6 – 50 раз. Меньшее воздействие на строение оказывают высокочастотные вибрации с частотой более 38 Гц.

5. *Продолжительность действия вибрации.* Учитывается в нормах Польши, Чехии, Великобритании и Германии. Различие между влиянием непостоянной и постоянной вибрацией достигает 1,6 – 3,2 раз.

6. *Расстояние до источника вибраций.* В нормах Норвегии при расстояниях от источника до приемника вибраций более 5 м вводится понижающая поправка, равная 0,5 при расстоянии более 200 м.

7. *Вид источника воздействий.* Учитывается в нормах РБ и Норвегии. Максимальное влияние оказывают взрывные работы, забивка свай и шпунта, снос сооружений.

8. *Материал строения.* Учитывается в нормах Норвегии. Отличие в предельных параметрах скорости колебаний для строений из железобетона и из бетонных поризованных блоков и аналогичных материалов, достигает 60%.

9. *Тип фундамента.* Учитывается в нормах Норвегии. Отличие в предельных параметрах вибраций для фундаментов в виде свай-стоек и плитных (ленточных и столбчатых) фундаментов, составляет 30%.

На основании сравнительного анализа нормативных документов разных стран и экспериментальных данных, полученных автором, определены параметры строений, наименее чувствительных к вибродинамическим воздействиям. Строение должно быть с железобетонным или стальным каркасом, не иметь дефектов, со свайными фундаментами, расположенными в прочных крупных песках или прочных суглинках глинах.

Выводы

1. Сравнение опытных данных автора, с результатами исследований влияния вибраций на конструкции зданий и сооружений, проведенных в различных странах, позволила выявить стандарт Великобритании, совпадающий с результатами инструментальных измерений вибраций, приведенных в таблице, и наиболее достоверно описывающий последствия их воздействия. Описание повреждений

строительных конструкций различной степени в указанном стандарте соответствует принятым в соответствующих нормах Беларуси.

2. Выявлены основные факторы, определяющие условия повреждения зданий или сооружений при вибродинамических воздействиях, передаваемых через грунтовую среду.

Библиографический список

1. Кудрявцев И. А. Влияние вибрации на нижнее строение рельсового пути, здания и сооружения: Автореф. дис... д-ра. техн. наук: 05.22.06 / И. А. Кудрявцев; БелГУТ. – М., 1995. – 43 л.

2. Берлинов М. В. Основы комплексной оценки динамической работы строительных конструкций при вибрационных воздействиях промышленного оборудования: дис... д-ра. техн. наук: 05.23.01 / М. В. Берлинов. – М., 2005. – 302 л.

3. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации / Е. К. Борисов [и др.]; – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007. – 128 с.

4. Инструкция по расчету перекрытий промышленных зданий, воспринимающих динамические нагрузки / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1967. – 57 с.

5. Reiher H. Die empfindlichkeit des menschen gegen erschutterungen / H. Reiher, F.J. Meister: Forschung auf dem gebiet des ingenieurwesense. – 1931. – Vol. 2. – P. 381–386.

6. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и ее воздействие на конструкцию: ГОСТ Р 52892 – 2007. – Введ. 27.12.07. – М: Федеральное агенство по техническому регулированию и метрологии: ОАЛ «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем», 2007. – 16 с.

7. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-264-2012. Введ. 28.05.12. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. – 114 с.

8. Чернов, Ю.Т. Вибрации строительных конструкций / Ю.Т. Чернов. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 288 с.

9. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007. – Введ. 2.04.07. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2007. – 136 с.

10. Разработка способов повышения эксплуатационной надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений при реконструкции и модернизации производства, сопровождающегося интенсивными вибродинамическими воздействиями: отчет о НИР (заключ.) / Белорусский национальный технический университет; рук. темы К.Э. Повколас. – Минск, 2018.–82 с. – № ГР 20160898.

11. Калюжнюк, М.М. Сваебойные работы при реконструкции (Влияние колебаний на здания и сооружения) / М. М. Калюжнюк, В. К. Рудь. – Л: Стройиздат, 1989. – 160 с.

12. Повколас, К.Э. Оценка эффективности применения вертикальных барьеров из газонаполненных цилиндрических баллонов для снижения вибраций в грунтовой среде / К.Э. Повколас // Мелиорация. – 2022. - № 4. – С. 23-29.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_1_116

НАНОМОДИФИКАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ*

© Авторы 2023

SPIN: 1658-0511

AuthorID: 900532

ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет

(Россия, Новосибирск)

SPIN: 6626-3274

AuthorID: 409255

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет

(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)

Аннотация. Разрушение металлических конструкций происходит под воздействием комплекса факторов природного и технологического характера, приводящие к образованию кислот и других агрессивных сред. Сельскохозяйственная отрасль и производство по переработке сельскохозяйственной продукции связаны с большим количеством горючих материалов, что приводит нередко к значительным материальным потерям (сотни миллиардов рублей). В силу этого большинство регионов России относятся к пожароопасным территориям. К тому же, в настоящее время, защитные покрытия, применяемые в условиях АПК Сибири, во многих случаях, не обладают необходимым набором эксплуатационных качеств, что так же приводит к большим потерям. В работе представлены результаты научных исследований по влиянию различных нанодобавок отечественного производства, с целью создания защитных композиций с определенными свойствами, отвечающими эксплуатационным условиям и требованиям по сохранности металлоконструкций и оборудования от огневых, тепловых и ионизирующих воздействий.

Ключевые слова: металлические конструкции; эксплуатационная стойкость; лакокрасочное покрытие; защитные покрытия; наномодифицированные покрытия; механика разрушения; строительная механика; безопасность объектов

Для цитирования: Пчельников А.В., Пичугин А.П. Наномодификация защитных покрытий металлических конструкций и оборудования для обеспечения эксплуатационной стойкости // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 116-120. doi:10.51608/26867818_2023_1_116.

Original article

NANOMODIFICATION OF PROTECTIVE COATINGS OF METAL STRUCTURES AND EQUIPMENT FOR ENSURING OPERATIONAL STABILITY

© The Author(s) 2023

PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk)

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

Annotation. Destruction of metal structures occurs under the influence of a combination of natural and technological factors, resulting in the formation of acids and other aggressive media. The agricultural sector and the processing of agricultural products are associated with a large amount of combustible materials, which often leads to significant material losses (hundreds of billions of

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



rubles). Because of this, most Russian regions are fire hazard areas. In addition, the current protective coatings used in the conditions of the Siberian agro-industrial complex, in many cases, do not have the necessary set of performance qualities, which also leads to large losses. The paper presents the results of scientific research on the influence of various nano-additives of domestic production, in order to create protective compositions with certain properties, conforming operating conditions and requirements for the safety of metal structures and equipment from fire, heat and ionizing effects.

Keywords: metal structures; operational stability; paint coating; protective coatings; nano-modified coatings; mechanics of destruction; safety of objects

For citation: Pchelnikov A.V., Pichugin A.P. Nanomodification of protective coatings of metal structures and equipment for ensuring operational stability // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 116-120. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_116.

Поверхность металлических конструкций подвергается воздействию факторам природного характера: солнечная радиация, воздушные потоки, температурные перепады; осадки в виде дождя, града, тумана, снега, приводящие к образованию кислот и других агрессивных сред (газы, химические вещества, грозовые разряды, радио- и электромагнитные волны, блуждающие токи, биологические вредители, давление грунта, грунтовые воды и др.), а также технологические факторы: удары, вибрации, истирания, проливы жидкостей и переувлажнения, коррозионные агрессивные среды, колебания температуры, биологические вредители, воздействия химических сред и др. Кроме того, большинство регионов России относятся к пожароопасным территориям, т.к. сельскохозяйственное производство связано с большим количеством горючих материалов (сено, солома, созревший хлеб, лес, древесина, топливно-смазочные материалы и др.), что приводит нередко к значительным материальным потерям (сотни миллиардов рублей). Высоким риском к возгоранию считаются: предприятия по производству пера, пуха, по хранению и переработке зерна, мукомольные цеха, заводы по производству растительного сырья, эксплуатация сельскохозяйственной техники в периоды сухой и жаркой погоды и др. Дополнительным отрицательным фактором является широкое распространение ионизирующих излучений природного и техногенного характера.

Вышеперечисленные факторы способствуют быстрой потере защитных качеств покрытий, в связи с чем в отдельных случаях повышаются риски для жизни и здоровья людей, а металлические поверхности подвергаются коррозионным процессам, активность которых выше, чем в других отраслях промышленности. Срок службы металлических поверхностей объектов сельскохозяйственного назначения в 2,5...3 раза короче, чем в других сферах. Ежегодно потери металла в АПК в результате коррозионных разрушений составляют до 20% от общего металлофонда (150 млн. тонн) страны, что практически в два раза превышает средние потери металла в РФ в целом.

Таким образом, в настоящее время, защитные покрытия, применяемые в условиях АПК Сибири, во

многих случаях, не обладают необходимым набором эксплуатационных качеств, что выражается в больших материальных потерях. В связи с этим, актуальным является нахождение путей повышения эксплуатационной стойкости защитных покрытий и обеспечения их комплексом необходимых эксплуатационных качеств для различных условий.

Один из самых эффективных способов повышения эксплуатационных качеств защитных покрытий является их наномодификация. Использование наноразмерных добавок, введенных в небольших количествах в материал (до 1%), позволяет улучшить технологические и эксплуатационные свойства изделий на их основе и является перспективным направлением в области создания новой конкурентоспособной продукции [1–3].

Ранее авторами было показано, что адгезионные процессы в контактной зоне между металлом и защитной композицией являются преобладающими, вследствие чего можно улучшить большинство эксплуатационных характеристик полимерсодержащих составов: прочность, твердость, истираемость и др. А введение наноразмерных частиц специального назначения может обеспечить повышение определенных качественных характеристик [4–6].

В работе приведены результаты исследований по влиянию различных нанодобавок, производимых отечественными фирмами (см. таблицу), количественное введение которых в защитные композиции варьировало от 0,01 до 1–2% по массе. Выбор был обусловлен целью создания защитных композиций с определенными свойствами, отвечающими эксплуатационным условиям и требованиям при тех или иных воздействиях. Для обеспечения энергосбережения и сохранности металлоконструкций и оборудования важнейшими критериями стали вопросы защиты от огневых, тепловых и ионизирующих воздействий.

Известно, что на строительной стали и технологическом оборудовании после воздействия повышенных температур на поверхности образуется характерная окраска, что объясняется возникновением тонких оксидных слоев. Цвет такого слоя зависит от температуры нагрева и толщины слоя оксидов. Так, при 220–230°C толщина слоя может составлять



Основные характеристики наноразмерных частиц

Показатели	Составы с УНТ	Диоксид титана	Оксид висмута	Оксид церия	Оксид цинка	Гидроксид магния	Диоксид кремния
Размерность, нм	1,2...50	до 100	30...50	40...80	10...80	20...100	до 60
Насыпная плотность, кг/м ³	140...550	700...1000	4200-5000	1200...1300	400...450	300...600	80...320
Удельная поверхность, м ² /г	90...120	25...70	18...35	20...30	8...17	5...15	314...438

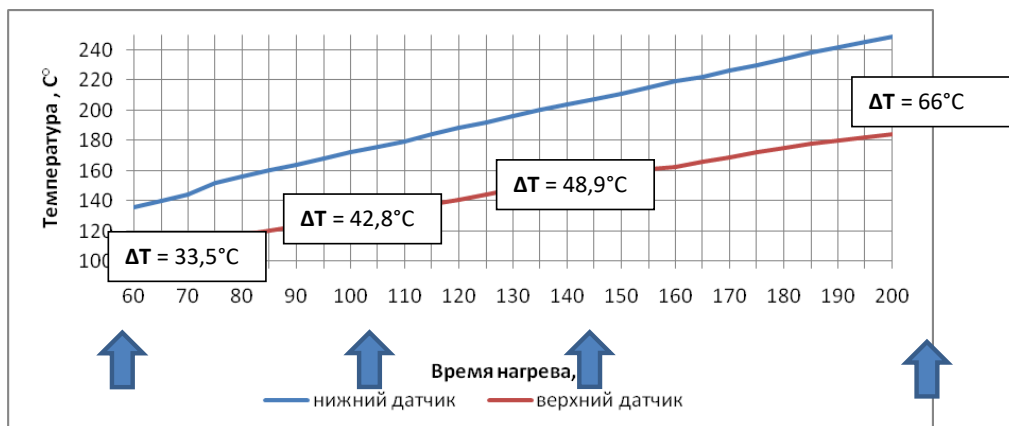


Рис. Влияние бинарной добавки УНТ 0,1% + SiO₂ 1,0% на теплозащитные качества акрилового покрытия

около 0,04 мкм и иметь светло-желтый оттенок; а при повышении температуры цвет изменяется с желтого оранжевого до красно-фиолетового и синего. При этом толщина оксидного слоя может увеличиться почти в два раза. Повышенная температура металлических элементов с нагревом до 300°C и более приводит к необратимым деформациям в виде искривления или прогиба, а после 550°C конструкции или детали могут терять механическую прочность и обрушаться. Особо остро данный вопрос стоит при эксплуатации тонкостенных металлических элементов и конструкций при возникновении фронта повышенных температур, что часто случается в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники и перерабатывающих предприятий [4].

С целью предотвращения нежелательных температурных деформаций металлические поверхности строительных конструкций и оборудования окрашивают лакокрасочными композициями с теплозащитным эффектом, однако стоимость таких составов превышает 1–3 тысячи рублей на м², что на практике экономически не всегда возможно реализовать. Поэтому нами выбран путь модифицирования акриловых лакокрасочных композиций наноразмерными добавками и создание теплозащитного экрана для обеспечения сохранности функций при окраске металлических поверхностей [4-5]. С этой целью было разработано специальное устройство для фиксации температуры на поверхности до прохождения теплового фронта и после.

Были опробованы в качестве добавок диоксид висмута (Bi₂O₃) и диоксид кремния (SiO₂) в различном процентном соотношении. При нагревании образцов с защитным акриловым покрытием, моди-

фицированным бинарной добавкой Bi₂O₃ 1% + SiO₂ 0,5%, обнаружены хорошие защитные качества тепловой защиты, увеличивающиеся во время испытаний. Интересные результаты получены при введении в состав акриловой композиции бинарной добавки, состоящей из углеродных нанотрубок (УНТ) и диоксида кремния (SiO₂). В этом случае интервал между показаниями датчиков составил более 58°C, что соответствует задержке прохождения теплового потока на полторы минуты. Еще более успешные результаты были получены при использовании в качестве бинарных добавок диоксид висмута (Bi₂O₃) и углеродных нанотрубок (УНТ). В этом случае высокие защитные качества тепловой защиты по интервалу задержки температуры достигают 64,6 °C. Таким образом, варьируя соотношением нанодобавок можно получить композицию, обладающую высокими теплофизическими характеристиками.

Варьирование различных сочетаний наноразмерных добавок в составе акриловых защитных композиций позволило установить ещё одну аномалию, дающую эффективную защиту при малых дозах дефицитных компонентов. Так, оказалось, что для составов бинарной добавки УНТ + SiO₂ при увеличении диоксида кремния с 0,5 до 1,0% интервал задержки температуры между термодатчиками достигает 66°C (см. рисунок). Кроме того, при введении молотого асбеста этот интервал может превышать 70°C, одновременно увеличиваясь с повышением температуры.

Происходящие процессы формирования защитных акриловых покрытий с бинарными нанодобавками в зоне контакта с металлической поверхностью были детально исследованы методами термо-



механики, а также на растровом электронном микроскопе. Изучение термомеханических кривых, полученных для акриловых композиций с бинарными добавками показало, что большей термостабильностью и меньшей деформацией обладают именно составы покрытий с добавками УНТ 0,1%+Bi₂O₃(SiO₂)1,0%.

Основными источниками ионизирующего излучения являются внутреннее и внешнее облучение от строительных материалов, радона и торона в помещениях и из грунта (30-51%), медицинские обследования (12-44%), а также космическое излучение (8-12%), внутреннее облучение (10-12%) и γ -излучение (7-15%). Рассматривая карту нашей страны по ионизирующим излучениям, можно выделить регионы с наиболее интенсивными дозами облучения – это, прежде всего южные районы Сибири, в которых уровень радиационной активности оценивается как высокий или очень высокий [6-8].

Проблемой защиты населения, зданий и оборудования от радиационного воздействия занимаются ученые всего мира. Основные направления противорадиационной защиты связаны с использованием металлов и сплавов, бетонов и строительных композитов, обладающих повышенной плотностью, что, естественно, способствует снижению проницаемости ионизирующих излучений. В последние годы, благодаря открытию новых наноразмерных добавок и компонентов, появились работы в области защитных противорадиационных покрытий на тканях, стеклах, металлах, пластмассах и других материалах. Так, одними из них являются тяжелые стекла, в состав которых входят соединения элементов с высоким атомным номером. Они используются для защиты персонала от излучения на объектах ядерной энергетики и промышленности, в лабораториях и медицинских центрах. Данные материалы превосходят экранирующие свойства многих других материалов и имеют десятикратный коэффициент ослабления и радиационные характеристики, превосходящие параметры традиционных материалов, применяемых в радиационной защите, – бетона и свинца [6–8].

Несмотря на большой объем выполненных исследований, посвященных противорадиационной защите, вопрос влияния наноразмерных добавок для этих целей пока изучен недостаточно полно, поэтому данная статья направлена на дополнение знаний в области защиты от ионизирующих излучений лакокрасочных композиций с нанодобавками.

Перед началом экспериментов были произведены замеры радиационного фона в лаборатории для проведения испытаний, величина которого составляла 0,17–0,19 мк³в/ч, а также в лабораторном боксе с агрессивной средой в соответствии с разработанной методикой и составлял 1,69–1,80 мк³в/ч.

Результаты данных показывают способность покрытия накапливать радиоактивные загрязнения (альфа загрязнения). Чем меньше значение, тем меньше накапливаются загрязнения. Углеродные нанотрубки (УНТ) и оксид висмута являются наилучшими из нанодобавок, т.к. снижают степень загрязнения на 20%. ПВХ и полиэтилен – наилучшие среди всех выбранных полимерных модификаторов, однако их использование сопряжено с высокой степенью горючести, что не приемлемо для использования в большинстве случаев на многих объектах и оборудовании АПК из-за несоответствия противопожарным требованиям. Для бета-измерений отмечается достаточно наглядная тенденция в снижении доли радиационной загрязненности при введении более одного процента диоксида кремния от массы лакокрасочной композиции. Кроме того, при увеличении дозировки этой добавки отмечено снижение уровня загрязненности. В то же время сочетание добавки из диоксида кремния с ПВХ существенно снижает радиационную загрязненность незначительно при любом соотношении компонентов.

Главным выводом, сделанным из исследований по изучению влияния наноразмерных добавок на остаточную радиационную загрязненность лакокрасочных полимерных покрытий, является тот факт, что одной монодобавкой практически невозможно обеспечить требуемый уровень радиационной защиты. Поэтому был проведен второй этап, с предварительным замером радиационного фона в лабораторном боксе для описания агрессивной среды по разработанной методике. В качестве минеральных добавок были приняты цеолит, алюмосиликатные микросферы, диоксид кремния и др. Сочетание наноразмерных добавок друг с другом позволило выявить закономерности в снижении остаточной радиационной загрязненности лакокрасочных полимерных покрытий.

Библиографический список

1. Калинская, Т. В. Нанотехнологии. Применение в лакокрасочной промышленности / Т. В. Калинская, А. С. Дринберг, Э. Ф. Ицко ; Т. В. Калинская, А. С. Дринберг, Э. Ф. Ицко. – Москва : ЛКМ-пресс, 2011. – 181 с. – ISBN 978-5-9901286-8-2. – EDN QNFPCPD.
2. Чернышева М.М., Тарасова И.Н., Дринберг А.С. Улучшение свойств лакокрасочных покрытий при использовании нанодобавок: миф или реальность? // Лакокрасочные материалы.– 2016.– № 7-8.– С. 54–57.
3. Трухина, М. В. Упрочняющее наномодифицирование лаковых покрытий / М. В. Трухина, М. В. Провоторов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2-6(292). – С. 73-78. – EDN PUKQYJ.
4. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В. Ф. Христанков, Е. А. Волобой // Известия высших учебных заведе-



ний. Строительство. – 2020. – № 6(738). – С. 81-90. – DOI 10.32683/0536-1052-2020-738-6-81-90. – EDN SZFISS.

5. Термомеханические исследования защитнопропиточных композиций с наноразмерными и специальными добавками / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. В. Пчельников [и др.] // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3(33). – С. 53-58. – EDN GQMPIU.

6. Стефаненко И.В. Радиационно–модифицированные материалы и жаростойкие композиции с использованием техногенного сырья для защиты от излучений и фоновой радиации/ автореф. дис. соиск. уч. ст. докт.техн. наук, ВолгГАСУ, Волгоград, 2012. – 44 с.

7. Радиационнозащитное терморегулирующее покрытие для космических аппаратов: пат. RU 2554183, № 2014121431, заявл. 27.05.2014, опубл. 27.05.15.

8. Токарь С.В., Страполова В.Н., Григорьевский А.В. Исследование радиационной стойкости терморегулирующих покрытий класса «солнечный отражатель» на силикатных связующих. Информатика и технология: Межвузовский сборник: Материалы научно-технической конференции Московского университета приборостроения и информатики. Выпуск XVI, М.: МГУПИ.– 2010.– С. 187–193.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2023_1_121

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПРОЦЕССА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА*

© Авторы 2023

SPIN: 9629-5322

AuthorID: 420903

ORCID 0000-0003-0209-7726

РИМШИН Владимир Иванович

член-корреспондент РААСН, Заслуженный строитель РФ,

доктор технических наук, профессор

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*

(Россия, Москва e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

SPIN: 9575-7605

AuthorID: 877782

ORCID: 0000-0001-6162-8561

ScopusID: 57466580000

ResearcherID: AAF-9205-2019

КЕЦКО Екатерина Сергеевна

аспирант

Научно-исследовательский институт строительной физики

(НИИСФ РААСН),

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

SPIN: 7986-6750

AuthorID: 1060251

КУЗИНА Ирина Сергеевна

студентка

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (НИУ МГСУ),*

(Россия, Москва, e-mail: ms.kuzina01@mail.ru)

Аннотация. В данном обзоре рассмотрен технологический регламент процесса обращения с отходами строительства и сноса с учетом документов, инструкций и стандартов, регламентирующих требования к разработке при строительстве и эксплуатации объектов, действующих на территории Российской Федерации и города Москва.

Ключевые слова: строительство; отходы строительства и сноса; утилизация отходов; технологический регламент; экология; ресурсосбережение

Для цитирования: Римшин В.И., Кецко Е.С., Кузина И.С. Технологический регламент процесса обращения с отходами строительства и сноса // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 121-124. doi:10.51608/26867818_2023_1_121.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Review article

TECHNOLOGICAL REGULATION OF THE CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT

© The Author(s) 2023

RIMSHIN Vladimir Ivanovich

Honored Builder of the Russian Federation, Corresponding Member of RAACS,
Dr. of Technical, Prof.

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)
(Russia, Moscow, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

KETSKO Ekaterina Sergeevna

PhD Candidate

*Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture
and Building Sciences*
(Russia, Moscow, e-mail: kkuzzina@mail.ru)

KUZINA Irina Sergeevna

Student

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)
(Russia, Moscow, e-mail: ms.kuzina01@mail.ru)

Annotation. This review studies the technological regulation of construction and demolition waste management, considering the documents, instructions, and standards that modulate the requirements for development during the construction and operation of facilities, operating on the territory of the Russian Federation and the city of Moscow.

Keywords: construction; construction and demolition waste; waste management; technological regulation; ecology; resource saving

For citation: Rimshin V.I., Ketsko E.S., Kuzina I.S. Technological regulation of the construction and demolition waste management // *Expert: theory and practice*. 2023. № 1 (20). Pp. 121-124. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_121.

В ходе выполнения строительных работ в городе Москва ежегодно образуется более полутора миллионов тонн отходов строительства и сноса, которые являются ценным вторичным сырьем и в соответствии с основными принципами государственной политики в области обращения с отходами, изложенными в Федеральном законе от 24.06.98 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», должны подвергаться переработке, использованию и вовлечению в хозяйственный оборот в целях уменьшения количества отходов.

В целях обеспечения правовых условий для более полного использования отходов строительства и сноса в городе Москва и уменьшения их образования введен единый порядок обращения с данной категорией отходов в городе [1].

Основными критериями при определении возможного использования или захоронения отходов строительства и сноса являются: максимально возможное направление отходов на переработку для вторичного использования, минимально возможное «плечо» перевозки от объекта до места переработки или захоронения, лимиты размещения отходов строительства на территории Московской области.

В данной статье расчет образования отходов было осуществлено с использованием материалов: ситуационный план, стройгенплан, сводные ведомости объемов работ, проектная документация на первый этап строительства объекта: «Реконструкция общественного здания по адресу: город Москва, Софийская набережная» [2].

В соответствии с вышеуказанными документами и типовыми нормами трудноустраняемых потерь материалов в процессе строительства образуются отходы, а именно: бой железобетонных конструкций, возникающий при срубке некондиционного бетона (обвязочная балка) и тампонирующей системы водопонижения пластичным бетоном (см. таблицу).

Площадка временного хранения отходов при производстве работ на данном объекте должна располагаться непосредственно на территории объекта образования отходов или в непосредственной близости от него. Строительные отходы должны храниться в одном определенном месте и своевременно вывозиться на захоронение или на переработку.

Сбор и временное хранение отходов определяется отдельно согласно его классу опасности. Раздельный сбор образующихся отходов должен осу-



Отходы строительства

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Образующиеся отходы	Норма потерь	Количество отходов
1	Ограждение котлована Срубка некондиционного бетона	м ³	221	Бой железобетонных конструкций	100%	221 м ³
2	Водопонижение Устройство открытого Водоотлива Тампонирувание системы пластичным бетоном	м ³	2	Бой железобетонных конструкций	100%	2 м ³

ществляться преимущественно механизированным способом. Допускается ручная сортировка образующихся отходов строительства при условии соблюдения действующих санитарных норм, экологических требований и правил техники безопасности [3-4].

Предельный срок содержания образующихся отходов на площадках не должен превышать 7 календарных дней. Места хранения должны иметь ограждение по периметру площадки в соответствии с ГОСТ23407-78 «Ограждения инвентарные строительных площадок и участков производства строительномонтажных работ». Освещение мест хранения в темное время суток должно отвечать требованиям ГОСТ 12.1.046-85 «Нормы освещения строительных площадок». К местам хранения должен быть исключен доступ посторонних лиц, не имеющих отношение к процессу обращения отходов или контролю за указанным процессом. Размещение отходов в местах хранения должно осуществляться с соблюдением действующих экологических, санитарных, противопожарных норм и правил техники безопасности, а также способом, обеспечивающим возможность беспрепятственной погрузки каждой отдельной позиции отходов на автотранспорт для их удаления (вывоза) с территории объекта образования отходов. Предельное количество временного накопления отходов определяется с учетом токсичности отхода, их общей массы, емкостью контейнеров для каждого вида отходов и грузоподъемностью транспортных средств, используемых для транспортировки отходов на полигоны и предприятия для вторичного их использования или переработки [5-6].

При проведении работ, связанных со строительством, отходопроизводители должны соблюдать необходимые условия и требования:

1. При производстве работ на данном объекте необходимо принимать меры по обращению с отходами, обеспечивающие охрану окружающей среды и сбережение природных ресурсов, соблюдать действующие экологические, санитарно-эпидемиологические и технологические правила при обращении с отходами.

2. Запрещается захоронение на участке работ строительного мусора.

3. Все автотранспортные средства (самосвалы и контейнеровозы, перевозящие открытые бункеры-накопители с отходами) должны перед выездом с территории стройплощадки оснащаться брезентовым тентом и проходить мойку колес.

4. При эксплуатации двигателей внутреннего сгорания нельзя орошать почвенный слой маслами и горючим.

5. Запрещается сжигание всех сгорающих отходов, загрязняющих воздушное пространство [7].

Строительные отходы образованные при производстве работ, направляемые на переработку или на захоронение на полигоны, должны пройти бактериологические, токсико-химические и радиационные исследования.

Определение класса опасности отходов строительства и сноса, образующихся на объекте, осуществлялось расчетно-аналитическим методом на основе «Федерального классификационного каталога отходов»(в редакции Приказа МПР РФ от 30.09.2011 г. № 792). Отходы, образующиеся при проведении работ на данном объекте, такие как: бой железобетонных изделий, отходы железобетона в кусковой форме; в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов относятся к 5-му классу опасности. Подтверждения 5-го класса опасности не требуется [8-9].

Накопление производится в стандартном бункере-накопителе с сортировкой железобетона, отправляемого на переработку. Бункер находится на строительной площадке все время строительства (либо привозится по мере необходимости) и располагается с расчетом, что он не будет препятствовать проезду автотранспорта на объект.

В работе выполнен расчет параметров мест временного хранения отходов. Бой железобетонных изделий имеет плотность 2.376 т/м³. Проектный допустимый объем его хранения не превышает 8 м³ и 6.5 м², что соответствует 19.008 тоннам. Максимально возможная нагрузка N на площади места хранения согласно прилагаемой схеме составляет:

$$N = \text{Количество отходов} / \text{Площадь площадки под данный тип отходов}$$

$$N = 19.008 / 6.5 = 2.92 \text{ т/м}^2, \quad (1)$$



В соответствии с Порядком обращения с отходами строительства и сноса в городе Москве №1386-ПП нагрузка на площади места хранения не должна превышать $3\text{т}/\text{м}^2$. Условие выполнено [10-11].

Библиографический список

1. Римшин, В. И. Обследование незавершенного строительства здания бытового обслуживания / В. И. Римшин, М. Н. Семенова, Р. И. Сафина // Эффективные строительные конструкции: теория и практика : сборник статей XXII Международной научно-технической конференции, Пенза, 24–25 марта 2022 года / Под редакцией Н.Н. Ласкова. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-методическая организация «Приволжский Дом знаний», 2022. – С. 127-131. – EDN IBVCWX.

2. Долбин, Н. С. Реализация потенциала ресурсосбережения ЖКХ в мире / Н. С. Долбин, В. Л. Курбатов // Университетская наука. – 2020. – № 2(10). – С. 52-54. – EDN RRVSWP.

3. Римшин, В. И. Анализ технического состояния несущих конструкций сооружений водоподготовки и водоотведения для последующего их усиления / В. И. Римшин, Е. С. Кузина, Р. Д. Хамракулов // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения : материалы Международных академических чтений, Курск, 15 ноября 2019 года. – Курск: Курский государственный университет, 2019. – С. 294-302. – EDN RZNTSF.

4. К вопросу остаточного ресурса железобетонных конструкций при поперечном изгибе по прочности нормальных сечений / В. И. Римшин, В. Л. Курбатов, Е. А. Король [и др.] // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы - 2019 : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – Москва: Национальный ис-

следовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 440-444. – EDN XZXFU.

5. Кузина, Е. С. Оценка технического состояния сооружений московского метрополитена, попадающих в зону влияния строительства / Е. С. Кузина // Университетская наука. – 2016. – № 1(1). – С. 78-82. – EDN WAWTKV.

6. Римшин, В. И. Проведение инженерно-геологических изысканий при реконструкции городских территорий / В. И. Римшин, Е. С. Кузина // Университетская наука. – 2016. – № 2(2). – С. 52-57. – EDN XCGRGP.

7. Кузина, Е. С. Организация локального и специального экологического мониторинга строительства и реконструкции зданий и сооружений / Е. С. Кузина // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. – 2017. – № 1. – С. 213-217. – EDN ZXNSGT.

8. Гусев, Б. В. Объемная матрица химических элементов / Б. В. Гусев, А. А. Сперанский // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4(382). – С. 43-48. – EDN LIXGUQ.

9. Влияние климатических условий на эксплуатационные характеристики вакуумной теплоизоляции / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, М. А. Муханов, О. В. Лияскин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 1(757). – С. 112-120. – DOI 10.32683/0536-1052-2022-757-1-112-120. – EDN VKZNYT.

10. Влияние климатических условий на эксплуатационные характеристики вакуумной теплоизоляции / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, М. А. Муханов, О. В. Лияскин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 1(757). – С. 112-120. – DOI 10.32683/0536-1052-2022-757-1-112-120. – EDN VKZNYT.

11. Курбатов, В. Л. Концептуальные вопросы способа очистки жилых и производственных помещений зданий из бетона от аммиака / В. Л. Курбатов // Университетская наука. – 2020. – № 1(9). – С. 8-11. – EDN PQCCRI.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Обзорная статья
УДК 69
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_1_125

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА ИЗ ДИАТОМИТА АТЕМАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ*

© Авторы 2023
SPIN: 4845-3197
AuthorID: 131097

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва*
(Россия, Саранск, e-mail: ntorm80@mail.ru)

SPIN: 7431-8742
AuthorID: 131100

КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва*
(Россия, Саранск)

SPIN: 7567-1856
AuthorID: 1068812

МУХАНОВ Михаил Александрович
аспирант кафедры «Строительные конструкции»
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва*
(Россия, Саранск)

SPIN: 5877-7468
AuthorID: 1017817

ЛИЯСКИН Олег Викторович
инженер
*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва*
(Россия, Саранск)

Аннотация. В обзорной статье проанализирована актуальная тема получения набора кремнеземных наночастиц различного строения: материалы на основе кремнезема имеют высокую стойкость к тепловому удару, обладают превосходными электроизоляционными свойствами при высоких температурах и востребованы в современном строительстве.

Сырьевой базой кремнеземсодержащего сырья для исследований по получению кремнезема послужило Атемарское месторождение диатомита в Республике Мордовия.

Рассмотрен метод (закреплен патентом РФ) получения тонкодисперсного аморфного химически чистого микрокремнезема из природного местного диатомита, включающий предварительное прокаливание при температуре 500 °С, обработку с использованием 30 % NaOH, где соотношение жидкой и твердой фаз составляло 14:1, при температуре термостатирования 90°С в течение $\tau = 2$ часов, отделения образовавшегося осадка и осаждения диоксида кремния азотной кислотой, последующую промывку и просушку. Метод отличается тем, что в качестве осадителя вместо концентрированного раствора HCl был использован раствор концентрированного HNO₃, что позволило получить выход химически чистого микрокремнезема до 87,2 %, который состоит на 95,36 ÷ 99,63 % из диоксида SiO₂.

Ключевые слова: строительные материалы; микрокремнезем; диатомит; наночастицы; кремнеземсодержащее сырье, Республика Мордовия

Для цитирования: Способы получения микрокремнезема из диатомита Атемарского месторождения Республики Мордовия / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, М.А. Муханов, О.В. Лияскин // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 125-129. doi:10.51608/26867818_2023_1_125.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



METHODS FOR PRODUCING A MICROSILICA FROM A DIATOMITE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA ATEMAR DEPOSIT

© The Author(s) 2023

SELYAEV Vladimir Pavlovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "Building Structures"
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (Russia, Saransk, e-mail: ntorm80@mail.ru)

KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna

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

MUKHANOV Mikhail Alexandrovich

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (Russia, Saransk)

LIYASKIN Oleg Viktorovich

Engineer
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (Russia, Saransk, e-mail)

Annotation. The review article analyzes the actual topic of obtaining a set of silica nanoparticles of different structure: materials based on silica have high resistance to heat shock, have excellent electrical insulation properties at high temperatures and have popularity in modern construction.

The Atemar diatomite deposit in the Republic of Mordovia served as a raw material base for silica-containing raw materials for silica research.

The method (secured by the patent of the Russian Federation) of obtaining finely dispersed amorphous chemically pure micro-belt from natural local diatomite is considered, including preliminary calcination at a temperature of 500 °C, processing using 30% NaOH, where the ratio of liquid to solid phases was 14:1, at a temperature of 90 °C during $\tau = 2$ hours, separation of the resulting sludge and deposition of silicon dioxide by nitric acid, subsequent washing and drying. The method differs in that as a precipitation, a concentrated HNO₃ solution was used instead of a concentrated HCl solution, which resulted in a chemically pure micro-belt yield of up to 87.2%, which consists of 95.36 ÷ 99.63% of SiO₂ dioxide.

Keywords: building materials; microsilica; diatomite; nanoparticles; silica-containing raw materials, Republic of Mordovia

For citation: Methods for producing a microsilica from a diatomite of the Republic of Mordovia Atemar deposit / V.P. Selyaev, L.I. Kupriyashkina, M.A. Mukhanov, O.V. Liyaskin // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 125-129. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_125.

Строительные композиционные материалы – это поликомпонентные системы, включающие в себя различные специализированные вяжущие, химические модифицирующие добавки, наноразмерные кремнезем и силикаты, специальные заполнители и т.д. [1]. Получение набора кремнеземных наночастиц различного строения актуально. Такие нанокomпозиты уже нашли применение в промышленности для изготовления специальных покрытий, огнестойких материалов, деталей автомобилей, электронных и оптических устройств [2]. Материалы на основе кремнезема имеют высокую стойкость к тепловому удару, обладают превосходными электроизоляционными свойствами при высоких температурах, могут длительно использоваться без изменения

свойств при температуре 1000 °C и кратковременно при более высоких температурах.

В качестве исходного материала для получения аморфного кремнезема в нашей стране служит кремнеземсодержащее сырье, к которому относятся диатомиты, трепел и опока. Эти породы состоят на 70–90% по массе из различных модификаций диоксида кремния. Сырьевой базой кремнеземсодержащего сырья для получения кремнезема в Республике Мордовия могут служить два месторождения диатомита – Атемарское и Анучинское. Добыча ископаемых осуществляется открытым способом. Порошок диатомита нерастворим в кислотах (HCl, HNO₃, H₂SO₄) и относится к кислым породам. Для перевода его в раствор необходимо сплавление. Наибо-



Таблица 1. Результаты химического анализа Атемарского диатомита после обработки HCl

№ п/п	Навеска диатомита, г	Масса осадка, г	Определяемые параметры			Конция HCl, моль/л
			SiO ₂ ·nH ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
1	1,0014	0,8933	79,50±0,35	4,48±0,24	5,65±0,36	1
2	1,0025	0,8591	78,80±0,33	6,08±0,17	8,12±0,16	2
3	1,0036	0,8482	79,35±0,27	5,12±0,20	7,35±0,23	3
4	1,0020	0,8408	78,90±0,30	4,16±0,28	5,30±0,32	4

лее удобным плавнем является смесь Na₂CO₃ и K₂CO₃. При этом температура плавления составляет 800 – 900 °С.

Прежде всего, были определены общая влажность диатомита и потери при прокаливании. Результаты анализа показывают, что общая влажность породы составила 5,5– 6,0%. Потери при прокаливании составили около 9%, что свидетельствует о наличии органических составляющих в породе.

В основу получения кремнезема из природного диатомита взята методика анализа силикатной породы. Навеску диатомита 5–7,5 г, смешивали с шестикратным количеством щелочного плавня. Проводили сплавление в платиновых и корундовых тиглях в муфельной печи при температуре 800– 900 °С. Полученный плав выливали на силикатный кирпич или переливали в платиновый тигель, переносили в химический стакан, добавляли дистиллированную воду, подкисляли концентрированным раствором HCl и выпаривали досуха. Эту операцию повторяли для полного обезвоживания гидратированного диоксида кремния. Нерастворенным оставался гидратированный оксид кремния (IV), который отделяли фильтрованием. Промывали осадок 0,5% раствором HCl 6–8 раз. Осадок сушили на воздухе, непосредственно на фильтре, затем переносили с фильтра в чашку Петри и сушили в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

В нашем случае кремнезем из диатомита получен при низких значениях pH. Показатель pH относится к наиболее важному фактору, влияющему на пористую структуру силикагеля, при которой формируется мокрый гель. Величина pH осаждения влияет на размер частиц, образующих скелет геля, пористость «мокрого» и высушенного геля. В процессе работы pH не изменялся, оставаясь в пределах 0,6 до фильтрования и 0,8–0,85 после промывания осадка на фильтре.

Данный способ получения микрокремнезема трудоемкий, длительный, требует большой затраты электроэнергии.

Изучена возможность получения микрокремнезема из диатомита путем удаления примесей (оксидов Fe, Al, Ca, Mg и др.) соляной кислотой. Навески просушенного диатомита помещали в колбы, заливали соляной кислотой определенной концентрации (1, 2, 3 или 4 М) и кипятили в течение 1–1,5 часов. Нерастворившийся остаток отфильтровывали, про-

мывали водой и анализировали на содержание диоксида кремния, Fe³⁺, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Результаты химического анализа представлены в таблице 1.

Содержание SiO₂·nH₂O в осадке составило 78–79 %. Понижение содержания SiO₂·nH₂O в осадке наблюдалось по мере увеличения концентрации HCl, что, вероятно, связано с переходом кремниевой кислоты в растворимое состояние [3]. Содержание оксида железа составило 4–6%, оксида алюминия – 5–8%. Наибольшая их концентрация в фильтрате наблюдается при обработке диатомита 2 М соляной кислотой.

На рисунках 1 и 2 представлены ИК-спектры микрокремнезема, полученного из диатомита путем сплавления последнего со щелочным плавнем, тонкодисперсного кремнезема, известного под названием «белая сажа», взятого в роли стандартного образца, а также кремнезема, выделенного из диатомита путем отмывания примесей обработкой соляной кислотой.

По данным ИК-спектров можно заключить, что микрокремнеземы, полученные различными способами, идентичны со спектрами стандартного образца «белая сажа». Во всех спектрах присутствует широкая полоса поглощения в области волновых чисел 3500–3300 см⁻¹, а также более узкая полоса в пределах 1630–1640 см⁻¹. Широкая полоса поглощения соответствует адсорбированной воде, полоса поглощения 1631 см⁻¹ соответствует молекулам воды, имеющим водородные связи с силанольными группами. Полосы поглощения 1100–1087 см⁻¹ соответствуют валентным колебаниям связи Si–O–Si. На поверхности кремнезема содержатся в большом количестве адсорбционная вода и силанольные группы. Наличие силанольных групп на поверхности кремнезема очень важно, так как они значительно более активны и легко вступают в химические реакции. Протон силанольной группы имеет слабокислый характер и способен вступать в реакции ионного обмена.

Размер частиц полученного кремнезема определяли с помощью оптического микроскопа Nikon LV-150. Установлено, что микрокремнезем из Атемарского диатомита имеет размер частиц 5–10 мкм. По результатам исследований можно сделать вывод, что нами получен из природного диатомита тонкодисперсный порошок кремнезема, который был исследован термогравиметрическим методом

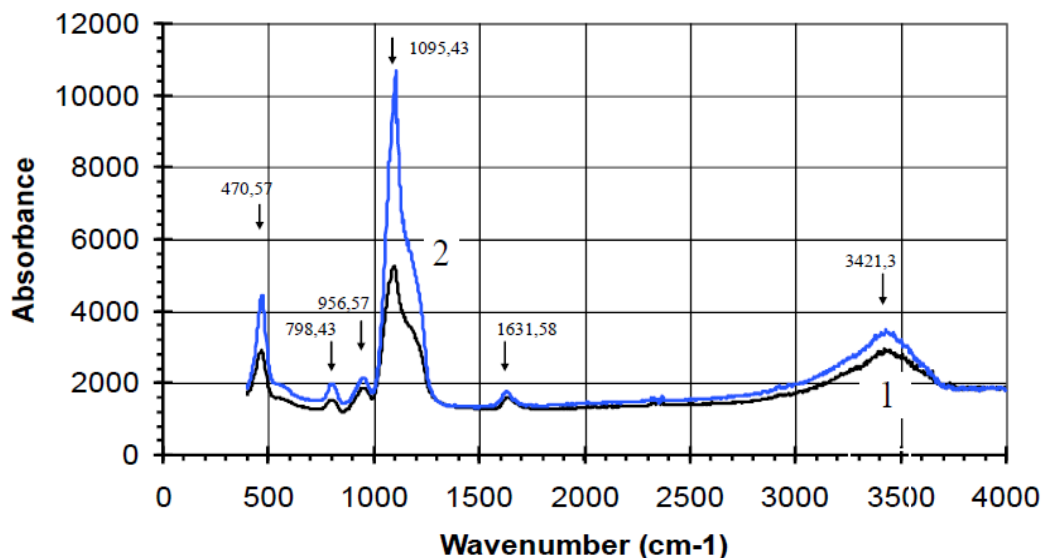


Рис. 1. Кривые спектрального анализа синтезированного кремнезема, промытого 0,5%-ным раствором HCl и стандартного образца белой сажи: 1 – кремнезем из диатомита, 2 – белая сажа

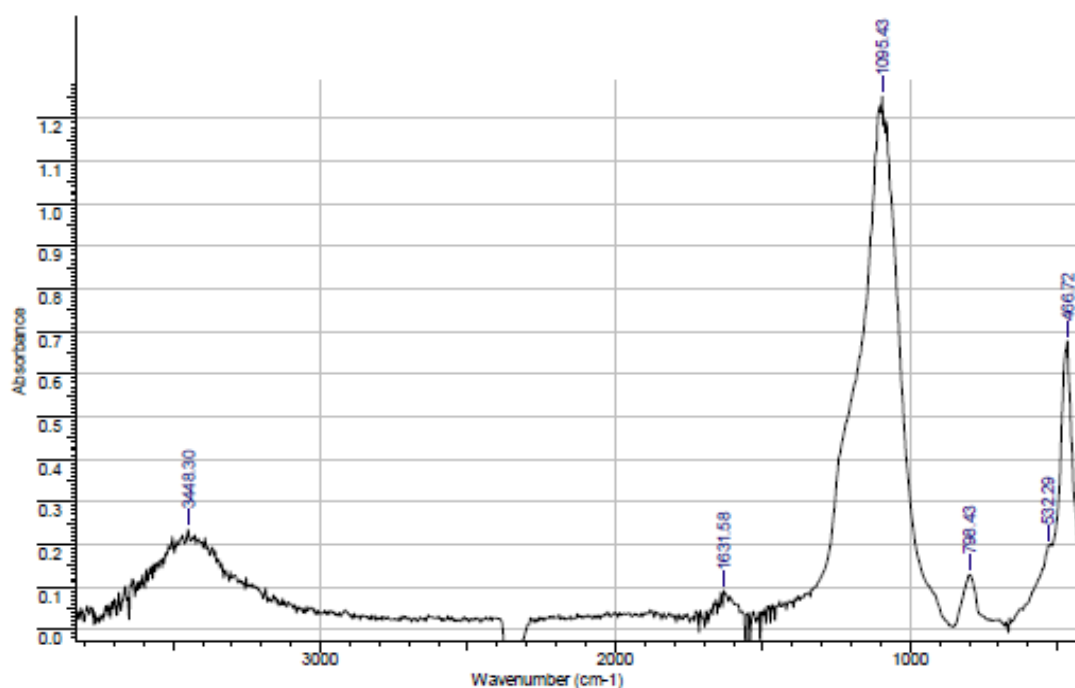


Рис. 2. Кривая спектрального анализа Атемарского диатомита после обработки 2М раствором HCl

на устройстве термогравиметрического и дифференциально-термического анализа TGA/SDTA 851.

Анализ термограммы синтезированного кремнезема из Атемарского диатомита показал, что при нагревании порошка от 70 до 165 °С образец теряет около 21 % своей массы за счет удаления адсорбированной воды. С повышением температуры до 250–400 °С потеря массы составляет 5,7%, вероятно, за счет удаления поровой воды. С повышением температуры до 420–500 °С потеря массы составляет 1,7 %.

Дальнейший рост температуры до 1200 °С не сопровождается изменением массы.

Нанопорошки имеют низкую теплопроводность и могут быть использованы в качестве теплоизоляторов и теплоизолирующих прокладок, наполнителем для вакуумных теплоизоляционных панелей, поэтому изучена теплопроводность микрокремнезема [4-5]. В таблице 2 представлены результаты анализа, сделанные на измерителе теплопроводности ИТС-1.



Таблица 2. Результаты анализа теплопроводности микрокремнезема

№ п/п	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Производимые действия
1	0,090	–
2	0,087	Прокаливание при 200°C в муфельной печи в течение 30 мин
3	0,050	СВЧ-излучение в течение 5 мин
4	0,042	Измельчение растиранием
5	0,040	СВЧ-излучение в течение 5 мин

Из таблицы 2 видно, что микрокремнезем без предварительного прокаливания имеет теплопроводность $\lambda=0,090$ Вт/(м·К). После прокаливания при 200°C в муфельной печи в течение 30 минут теплопроводность составила $\lambda=0,087$ Вт/(м·К), после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут – $\lambda=0,050$ Вт/(м·К). При дополнительном измельчении до обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут – $\lambda=0,040$ Вт/(м·К). Таким образом, при взаимодействии СВЧ-излучения происходит удаление адсорбированной воды, увеличение пористости микрокремнезема, что ведет к уменьшению теплопроводности дисперсной системы более чем в 2 раза.

Однако недостаток данного метода заключается в том, что данный способ получения кремнезема является трудоемким, длительным и позволяет получать небольшие количества конечного продукта [3]. При низких значениях pH происходят потери кремнезема за счет перехода кремниевой кислоты в истинно-растворимое состояние. Поэтому коллоидно-растворенную кремниевую кислоту необходимо дегидратировать и коагулировать, истинно-растворенную – полимеризировать и дегидратировать. Для уменьшения потерь кремниевой кислоты проводят повторные операции с фильтратом (выпаривание) или введение раствора желатина. После осаждения кремниевой кислоты концентрированной HCl в фильтрате установлены высокое содержание хлорид-ионов. В этих условиях возможна сорбция хлорид-ионов кремниевой кислотой. Для удаления хлорид-ионов из осадка требуется длительное промывание его горячей водой, подкисленной HNO₃. Поэтому был разработан новый способ получения тонкодисперсного аморфного химически чистого микрокремнезема из природного местного диатомита, включающий предварительное прокаливание при температуре 500 °C, обработку с использованием 30 % NaOH, где соотношение жидкой и твердой фаз составляло

14:1, при температуре термостатирования 90°C в течение $\tau = 2$ часов, отделения образовавшегося осадка и осаждения диоксида кремния азотной кислотой, последующую промывку и просушку. Метод отличается тем, что в качестве осадителя вместо концентрированного раствора HCl был использован раствор концентрированного HNO₃, что позволило получить выход химически чистого микрокремнезема до 87,2 %, который состоит на 95,36 ÷ 99,63 % из диоксида SiO₂ [6].

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что кремнеземсодержащее сырье – диатомит Атемарского месторождения Республики Мордовия можно использовать для получения микрокремнезема, используемого для получения высококачественных теплоизоляционных материалов нового поколения.

Библиографический список

1. Химия кремнезёма. В 2-х частях. – М.: Мир, 1982. – 1128 с.
2. Селяев В.П., Осипов А.К., Писарева А.С. Наночастицы, порошки, структуры, технологии: анализ. обзор. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 84 с.
3. Патент № 2526454 С1 Российская Федерация, МПК C01B 33/18, C09C 1/28. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема : № 2013104054/05 : заявл. 30.01.2013 : опубл. 20.08.2014 / В. П. Селяев, А. К. Осипов, А. А. Седова, Л. И. Куприяшкина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва". – EDN URXBVN.
4. Разработка вакуумных панелей на основе микрокремнезема из наноструктурированного порошка частиц диатомита / И. П. Долгов, Н. Н. Киселев, Л. И. Куприяшкина [и др.] // Огарёв-Online. – 2018. – № 9(114). – С. 1. – EDN XUFGXB.
5. Оптимизация состава наполнителя вакуумной теплоизоляционной панели на основе пирогенного микрокремнезема / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, Н. Н. Киселев, П. В. Селяев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 5(701). – С. 36-42. – EDN ZAURST.
6. Патент № 2740995 С1 Российская Федерация, МПК C01B 33/18, C01B 33/193. Способ получения микрокремнезема из природного диатомита осаждением раствора азотной кислоты : № 2020116983 : заявл. 22.05.2020 : опубл. 22.01.2021 / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, А. А. Седова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – EDN ULCZLM.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_130

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ШЛАМОВ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

© Авторы 2023

SPIN: 5316-5749

AuthorID: 448093

ТАРАКАНОВ Олег Вячеславович

доктор технических наук, профессор, советник РААСН,

декан факультета «Управление территориями»

*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства*

(Россия, Пенза, e-mail: dground@pguas.ru)

SPIN: 1106-9075

AuthorID: 665433

БЕЛЯКОВА Елена Александровна

кандидат технических наук, доцент

*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства*

(Россия, Пенза)

SPIN: 7836-8973

AuthorID: 388452

МОСКВИН Роман Николаевич

кандидат технических наук, доцент

*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства*

(Россия, Пенза)

Аннотация. В настоящее время проблема использования вторичного сырья и утилизации отходов промышленности является одной из глобальных и осложняется тем, что количество используемого сырья и отходов в России составляет не более 20%. Строительная индустрия является одним из потенциальных потребителей минерального сырья и отходов промышленности. Значительный интерес, с точки зрения использования в технологии строительных и отделочных материалов, представляют минеральные шламы, образующиеся на предприятиях химической, машиностроительной, металлургической отраслей, а также отходы горнодобывающей промышленности.

С учетом огромного количества предприятий энергетики в России и глобальной экологической проблемы, связанной с утилизацией шламов, задача расширения области применения карбонатных шламов имеет большое экономическое и природоохранное значение.

Ключевые слова: строительные материалы; цементные материалы; минеральные шламы; строительное материаловедение; карбонатные породы

Для цитирования: Тараканов О.В., Белякова Е.А., Москвин Р.Н. Применение минеральных шламов и карбонатных пород в производстве цементных материалов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 130-132. doi:10.51608/26867818_2023_1_130.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

APPLICATION OF MINERAL SLUDGE AND CARBONATE ROCKS IN THE PRODUCTION OF CEMENT MATERIALS

© The Author(s) 2023

TARAKANOV Oleg Vyacheslavovich

doctor of technical sciences, professor,
Dean of the Faculty of Territory Management
Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza, e-mail: dground@pguas.ru)

BELyakOVA Elena Alexandrovna

candidate of technical sciences, associate professor
Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza)

MOSKVIN Roman Nikolaevich

candidate of technical sciences, associate professor
Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza)

Annotation. The current problem of reuse and recycling of industrial waste is one of the global ones. The issue is complicated by the fact that the quantity of raw materials and waste used in Russia is no more than 20%. The construction industry is one of the potential consumers of mineral and industrial waste. Mineral sludge that is formed on chemical, engineering, metallurgical and mining enterprises is of great interest for use in building and finishing materials.

Considering the huge number of power plants in Russia and the global environmental problem associated with sludge disposal, the task of expanding the use of carbonate sludge represents the great economic and environmental importance.

Keywords: building materials; cement materials; mineral sludge; building materials science; carbonate rocks

For citation: Tarakanov O.V., Belyakova E.A., Moskvina R.N. Application of mineral sludge and carbonate rocks in the production of cement materials // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 130-132. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_130.

Преимуществом минеральных шламов перед другими отходами является то, что они практически не требуют дополнительной переработки, поскольку находятся в тонкодисперсном состоянии с высокой степенью влажности. Значительную долю отходов предприятий энергетики составляют шламы, образующиеся в процессе химической подготовки воды для котельных установок. На предприятиях средней мощности образуется, в среднем, 5–7 тыс. тонн шламовых отходов, которые накапливаются на площадках фильтрации и периодически вывозятся в отвал. Химический состав шламов химводоподготовки представлен, главным образом, карбонатом кальция, образующимся в процессе известкования природной воды и коагуляции осадка. Высокая дисперсность шламов и стабильный химический состав позволяют использовать их практически в исходном виде, и доработка заключается лишь в необходимости разбавления пастообразного шлама водой для получения рабочей суспензии требуемой плотности.

Задача строительного материаловедения заключается в том, чтобы исследовать механизмы гидратации и твердения цементных и других вяжущих

материалов в присутствии минеральных микронаполнителей, в том числе шламовых отходов.

В работе рассмотрены возможные механизмы активации гидратации и твердения цементных материалов в присутствии карбонатных шламов. Экспериментальные данные, касающиеся гидратации цементных систем в присутствии модифицирующих добавок и микронаполнителей свидетельствуют о том, что с момента водозатворения до образования прочной структуры цементные системы проходят несколько этапов, на каждом из которых тонкодисперсные частицы кальцита играют определенную роль. На начальном этапе гидратации цемента происходят процессы растворения и гидролиза вяжущих веществ. В процессе дальнейшей гидратации происходит коагуляция дисперсии и образование коллоидной структуры. В этот же период гидратирующиеся цементные частицы покрываются гелеобразными и микрокристаллическими оболочками из продуктов гидратации. Например, уже с первых секунд после водозатворения на поверхности частиц цемента формируются гидроалюминатные кристаллические структуры AFm-фаз, близкие по структуре



к $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{CH})$. В присутствие кальцита, имеющего параметры кристаллической решетки, близкие к CH , формирование гидратов может происходить не только на поверхности частиц цемента, но и на поверхности кальцита. Подобный процесс способствует уплотнению коагуляционной структуры цемента и активации формирования начальной коагуляционно-кристаллизационной структуры.

С химической точки зрения в цементных системах в присутствие кальцита возможно образование нескольких гидратных фаз: скаутита, таумасита, основных карбонатов кальция, а также гидрокарбоалюминатов кальция, которые могут кристаллизоваться как на частицах цемента, так и на частицах кальцита с образованием кристаллизационных мостов, формирующихся в различных полях концентрации.

Известно, что различающиеся по кристаллохимическому строению поверхности могут образовывать сросшиеся структуры при условии отсутствия полных твердых растворов, подобия кристаллических решеток, параметры которых могут различаться лишь на несколько процентов. Проанализировать возможность образования указанных видов гидратов достаточно сложно, однако стабильное повышение прочности цементно-карбонатных систем позволяет говорить о возможности подобных механизмов активации.

В отношении гидросиликатных структур следует отметить, что в присутствие кальцита возможно изменение конденсации ортосиликатов кальция вследствие чего в цементной системе формируется множество гидратных фаз различной структуры, переплетающихся и срастающихся между собой, способствуя, в целом, упрочнению цементных материалов. Это подтверждается нашими ранними исследованиями [1].

Показано, что в присутствие карбонатных шламов происходит активация образования $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что позволяет сделать предположение, что в присутствие кальцита и при избытке CH в цементной системе происходит трансформация гидросиликатных структур с образованием фрагментов гидратов, близких по структуре к ксонолиту, гиролиту, трусколиту и тд. Кроме того, весьма важным является тот факт, что ксонолит является основой для образования скаутита. При взаимодействии кальциево-силикатных фаз цемента с солями угольной кислоты возможно образование новых соединений, состав кото-

рых малоизучен, например, соединений группы гидроксикарбосиликатов кальция [2].

Другим перспективным направлением применения карбонатных пород, в том числе и минеральных карбонатных шламов, является использование их в тонкодисперсном (тонкомолотом) состоянии с целью создания в цементных бетонах реологически активной матрицы, повышающей эффективность применения супер- и гиперпластификаторов (СП и ГП). Тонкомолотые плотные карбонатные породы в некоторых случаях в присутствие СП и ГП разжижаются лучше, чем чисто цементные системы, что позволяет в цементно-карбонатных материалах достигать высоких водоредуцирующих эффектов и, соответственно, достигать больших значений прочности.

Использование в цементных системах тонкодисперсного кальцита способствует не только уплотнению структуры, но и активации процессов гидратации, начального структурообразования и повышению ранней прочности растворов и бетонов.

Значительный научный и практический интерес представляет использование в цементных системах бинарных и более сложных комплексов микронаполнителей совместно с СП и ГП. Подобные комплексы позволяют в определенной степени нивелировать влияние отдельных негативных факторов, например, изменчивость составов цементов, различный характер влияния СП и ГП на процессы гидратации и твердения цементных растворов и бетонов.

Библиографический список

1. Тараканов, О. В. Гидратация и твердение цементных материалов с добавками минеральных шламов / О. В. Тараканов, Т. В. Пронина ; О. В. Тараканов, Т. В. Пронина; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Международная акад. наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства". – Пенза : Изд-во ПГУАС, 2006. – 150 с. – ISBN 5-9282-0379-9. – EDN QNMNJB.
2. Козлова, В. К. Продукты гидратации кальциево-силикатных фаз цемента и смешанных вяжущих веществ : монография / В. К. Козлова, Ю. В. Карпова, Ю. А. Ильевский ; В. К. Козлова, Ю. В. Карпова, Ю. А. Ильевский ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул : АлтГТУ, 2005. – 186 с. – ISBN 5-7568-0518-4. – EDN QNEAUB.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 621.565.93/.94

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2023_1_133

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА АНАЛИЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ

© Авторы 2023

SPIN: 1840-8194

AuthorID: 105900

Scopus ID: 7005670404

ORCID:0000-0001-6117-7529

ФЕДОСОВ Сергей Викторович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*

(Россия, Москва e-mail: fedosovsv@mgsu.ru)

SPIN: 2198-1230

AuthorID: 670934

ScopusID: 56763729700

ФЕДОСЕЕВ Вадим Николаевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Организация
производства и городское хозяйство»

Ивановский государственный политехнический университет

(Россия, Иваново, e-mail: 4932421318@mail.ru)

SPIN: 3084-4275

AuthorID: 648928

Scopus ID: 57190020354

ORCID: 0000-0003-3451-2031

ЗАЙЦЕВА Ирина Александровна

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация
производства и городское хозяйство»

Ивановский государственный политехнический университет

(Россия, Иваново, e-mail: 75zss@rambler.ru)

SPIN-код: 8065-6330

AuthorID: 835870

Scopus ID: 57193557894

ORCID: 0000-0003-4046-2130

ВОРОНОВ Владимир Андреевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация
производства и городское хозяйство»

Ивановский государственный политехнический университет

(Россия, Иваново, e-mail: atenamiiii@gmail.com)

Аннотация. Задача совершенствования испарительно-конденсационного блока энергосберегающих теплообменных аппаратов (ЭТО) на сегодняшний день является одной из наиболее актуальных в направлении развития энергоэффективных технологий. Целью исследования, приведенного в данной статье, является определение значимости факторов, влияющих на тепло-энергетическую эффективность ЭТО. Для этого применяется метод анализа иерархий.

В статье обосновывается целесообразность применения метода анализа иерархий, как математического инструмента прогнозирования системного и необходимого подхода для анализа сложных проблем при поддержке принятия управленческих решений. В данном исследовании метод анализа иерархий реализован на основе метода экспертных оценок, в котором респондентами являются эксперты - специалисты в определенной области деятельности. Основное назначение метода экспертной оценки – выявление сложных аспектов исследуемой проблемы, повышение качества информации, выводов. При проведении исследования была сформирована группа независимых экспертов, посредством индивидуального опроса определены критерии повышения энергоэффективности воздушного теплового насоса (системная взаимосвязь теплообменников: испарителя и конденсатора). Экспертное обоснование теплофизических свойств теплоносителя, рабочего тела, окружающей среды позволяет провести объективное математически обоснованное сравнение и расчет приоритетов вариантов энергосберегающих теплообменных аппаратов (на примере конфигурации различных моделей воздушного теплового насоса).

Ключевые слова: строительная отрасль; теплообменные аппараты; воздушный тепловой насос; метод анализа иерархий; экспертные оценки; энергоэффективность; энергосбережение; тепломассообмен; экология

Для цитирования: Экспертная оценка анализа энергосберегающих моделей воздушных теплонасосных систем / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, И.А. Зайцева, В.А. Воронов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 133-138. doi:10.51608/26867818_2023_1_133.



Original article

EXPERT EVALUATION OF ENERGY-SAVING MODELS OF AIR HEAT PUMP SYSTEMS ANALYSIS

© The Author(s) 2023

FEDOSOV Sergey Viktorovich

Academician of the RAACS, Dr. of Technical, Prof.
National Research Moscow State University of Civil Engineering
(Russia, Moscow, e-mail: fedosovsv@mgsu.ru)

FEDOSEEV Vadim Nikolaevich

Dr. of Technical, Professor of the Department "Organization of production and urban economy"
Ivanovo State Polytechnic University
(Russia, Ivanovo, e-mail: 4932421318@mail.ru)

ZAYCEVA Irina Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Organization of production and urban economy"
Ivanovo State Polytechnic University
(Russia, Ivanovo, e-mail: 75zss@rambler.ru)

VORONOV Vladimir Andreevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Organization of production and urban economy"
Ivanovo State Polytechnic University
(Russia, Ivanovo, e-mail: 4932421318@mail.ru)

Annotation. The task of improving the evaporative-condensing block of energy-saving heat exchangers is one of the most relevant in the direction of the development of energy-efficient technologies today. The purpose of the study presented in this article is to determine the significance of the factors affecting the heat and power efficiency of the SHE. For this, the hierarchy analysis method is used. The article substantiates the expediency of using the hierarchies' analysis as a mathematical tool for predicting a systematic and necessary approach for analyzing complex problems with the support of managerial decision-making. In this study, the method of hierarchies' analysis is implemented on the basis of the method of expert assessments, in which the respondents are experts and specialists in a particular field of activity. The main purpose of the peer review method is to identify complex aspects of the problem under study, improve the quality of information and conclusions. During the study, a group of independent experts was formed, through an individual survey, criteria for improving the energy efficiency of an air source heat pump were determined. Expert substantiation of the thermophysical properties of the coolant, working fluid, environment will allow an objective mathematically justified comparison and calculation of priorities for options of energy-saving heat exchangers (on the example of the configuration of various models of an air source heat pump).

Keywords: heat exchangers; air heat pump; hierarchy analysis method; expert assessments; energy efficiency; energy saving; heat and mass transfer; ecology

For citation: Expert evaluation of energy-saving models of air heat pump systems analysis / S.V. Fedosov, V.N. Fedoseev, I.A. Zayceva, V.A. Voronov // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 133-138. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_133.

Введение

Для повышения степени объективности и качества процедуры принятия решений целесообразно учитывать мнения нескольких экспертов. С этой целью проводится групповая экспертиза, в процессе которой каждый из участников может иметь свое видение решения поставленной задачи или оценку возникшей проблемы.

Непосредственно для получения оценок экспертов могут использоваться различные опросы. Од-

ним из способов выявить предпочтения и представить их в количественном виде является метод анализа иерархий (МАИ).

Метод анализа иерархий основывается на трёх методах и принципах: методе экспертных оценок, методе парных сравнений и принципе глобального приоритета. Метод экспертных оценок позволяет использовать мнение компетентных специалистов, обладающих достаточным опытом и знаниями по тематике проблемы – экспертов. Метод парных



сравнений используется для проведения абсолютной оценки критериев по типу «лучше – хуже». Принцип глобального приоритета позволяет определить критерии, которые имеют явное превосходство над другими.

Метод анализа иерархий опирается на достаточно простые элементы, которые оцениваются в шкале метода анализа иерархий в виде суждений экспертов, а затем на основании обработки экспертных оценок определяется относительная степень их взаимного влияния в иерархии. Применение данного метода позволяет лицу, принимающему решение в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к её решению.

Метод анализа иерархий реализован на основе метода экспертных оценок, в котором респондентами являются эксперты – специалисты в определенной области деятельности. Основное назначение метода экспертной оценки – выявление сложных аспектов исследуемой проблемы, повышение качества информации, выводов. Отличительная особенность метода состоит в том, что он предполагает компетентное участие экспертов (экспертизу) в анализе и решении проблем исследования. Экспертные оценки – это суждения экспертов в определенной сфере человеческой деятельности, предполагающие процедуру сравнения объектов и их свойств по выделенным критериям [3].

В этой связи задача совершенствования испарительно-конденсационного блока энергосберегающих теплообменных аппаратов (ЭТО) является крайне актуальной. Для её решения необходимо проанализировать термодинамический цикл и рамки его изменений, систему нестационарного теплопереноса, раскрывающего теоретическую суть самих процессов, так как эти процессы сильно зависят от изменяющихся параметров окружающей среды [4-5].

При обосновании критериев, влияющих на теплоэнергетическую эффективность воздушных тепловых насосов имеем ввиду взаимосвязь и приоритет теплопереноса в системе контура ЭТО.

Взаимосвязь – это скрытая теплота парообразования, как количество теплоты, которую поглощает кипящая жидкость при переходе из жидкой фазы в пар – (испарение) или отдача при переходе из паровой фазы в жидкую – конденсация [6-7].

Приоритет – это весомое влияние на ЭТО составляющих: окружающей среды, рабочего тела, теплоносителя на термодинамическую активность испарительно-конденсационного блока в условиях неравновесного процесса.

Цель – определение значимости факторов, влияющих на теплоэнергетическую эффективность

ЭТО, для повышения энергоресурсоэффективности или интенсификации теплопереноса.

Методология

Решение через математическое моделирование проводимых процессов является важным инструментом для выбора энергоресурсосберегающих технических решений и является методологическим инструментом для разработки теоретических основ эффективных термодинамических процессов, протекающих в испарительно-конденсационном блоке ЭТО [8-10].

При проведении данного исследования было поставлено две задачи. Первая задача состояла в формировании группы независимых экспертов, которые имеют ученые степени кандидатов и докторов наук, многолетний опыт производства и анализа. Количество экспертов выбирается произвольно, в зависимости от сложности выполняемого исследования. Выбор экспертов высокой степени компетентности позволил провести исследование посредством индивидуального опроса шести экспертов.

Уровень 1. Цель		
Интенсивность энерготепловых процессов		
Уровень 2. Критерии (теплофизические свойства)		
Окружающая среда (воздух)	Теплоноситель (вода)	Рабочее тело (фреон – хладагент)
Температура	Плотность	Температура кипения (теплопроводимость рабочего тела)
	Химический состав	Давление (плотность в испарителе)
Влажность	Температура кипения	Механическое сопротивление (в магистрали)
		Температура конденсации
Объем воздуха	Объем	Теплота фазового перехода
		Структура потоков в магистралях теплообменника (толщина стенок или скорость потока)
Уровень 3. Альтернативы (направления выбора)		
Классический воздушный тепловой насос (ВТН) и ТЭН		
Воздушный тепловой насос с системой рециркуляции (РВТН)		
Воздушный тепловой насос с системой рекуперации и рециркуляции РВТНР		

Рис. Иерархия проблемы выбора приоритетных направлений повышения интенсивности теплопереноса

Вторая задача заключалась в определении экспертами критериев, по которым проводилось сравнение вариантов анализируемых моделей ВТН. В рамках исследований ограничимся тремя наибо-



лее перспективными ЭТО: воздушным тепловым насосом с электронагревательным устройством (ВТН+ТЭН), рекуперационным воздушным тепловым насосом (РВТН) и рекуперационным воздушным тепловым насосом с рециркуляцией (РВТНР).

От полноты описания экспертных суждений зависит качество и эффективность принимаемых решений. Поэтому важным этапом анализа является проведение экспертизы опытными специалистами. Для процесса оценки необходимо было провести декомпозицию в иерархию, которая представлена на рисунке.

На рисунке приведены теплофизические свойства по каждому критерию. Выбор критериев и их свойств был сделан на основании следующих рассуждений и умозаключений экспертов.

Применение метода анализа иерархий, как математического инструмента прогнозирования системного и необходимого подхода для анализа сложных проблем поддержки принятия управленческих решений, позволяет лицу, принимающему решения, в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к её решению. Обоснованность применения метода анализа иерархий (МАИ) заключается в том, что в процессе моделирования теплопереноса в испарительно-конденсаторном блоке ЭТО, необходимо определять основные параметры моделирования, для чего следует расставить приоритеты.

Отличительная особенность метода состоит в том, что он предполагает компетентное участие экспертов (экспертизу) в анализе и решении проблем исследования. Основываясь на интуитивно-экспериментальном подходе, было сформировано три группы факторов, влияющие на теплоэнергетическую эффективность ЭТО [13-15].

Результаты

Одной из задач метода иерархии Т. Саати является стремление снизить влияние человеческого фактора на итоговый смысловой результат. Это связано с тем, что заполнение матрицы суждений осуществляется экспертом, который может допустить погрешность в определении относительной важности критериев по психологическим причинам. Для определения степени корректности данных в заполненной матрице введено понятие меры согласованности матрицы. Для такой матрицы индекс согласованности равняется нулю. Однако, как правило, при анализе данных, полученных экспертным путем, матрица не является полностью согласованной.

Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью

процедуры парных сравнений отдельных компонент иерархии. Данная таблица строится на основе работы группы экспертов.

Формирование результатов данного сравнения осуществляется с использованием качественной 9-ти балльной шкалы, предложенной Т. Саати.

Эксперты производят суждения, отвечая на вопросы, приведенные в таблице.

Результаты опроса экспертов

Вопросы для опроса и анализа	1-й эксперт	2-й эксперт	3-й эксперт	4-й эксперт	5-й эксперт	6-й эксперт	Средний балл
1	2	3	4	5	6	7	8
по критериям окружающей среды							
Во сколько раз критерий «температура» значительнее критерия «влажность» для достижения цели (относительно цели)?	5	5	6	3	2	3	4
Во сколько раз критерий «температура» значительнее критерия «объем воздуха»?	5	5	7	6	6	7	6
Во сколько раз критерий «влажность» значительнее критерия «объем воздуха»?	3	3	2	4	3	3	3
по критериям теплоносителя							
Во сколько раз критерий «температура кипения» значительнее критерия «объем» для достижения цели (относительно цели)?	4	4	4	5	3	4	4
Во сколько раз критерий «температура кипения» значительнее критерия «плотность»?	5	7	6	6	4	8	6
Во сколько раз критерий «температура кипения» значительнее критерия «вязкость»?	7	6	8	7	7	7	7
Во сколько раз критерий «объем» значительнее критерия «плотность»?	2	4	3	3	2	4	3
Во сколько раз критерий «объем» значительнее критерия «вязкость»?	4	5	6	3	3	4	4
Во сколько раз критерий «плотность» значительнее критерия «вязкость»?	1	1	3	3	2	2	2
по критериям рабочего тела							
Во сколько раз критерий «давление» значительнее критерия «теплота» для достижения цели (относительно цели)?	3	3	3	3	3	3	3



Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Во сколько раз критерий «теплота» значительнее критерия «сопротивления»?	8	9	7	6	9	9	8
Во сколько раз критерий «теплота» значительнее критерия «температура кипения»?	2	4	3	3	2	4	3
Во сколько раз критерий «теплота» значительнее критерия «температура конденсации»?	3	4	3	4	2	2	3
Во сколько раз критерий «теплота» значительнее критерия «структура»?	7	7	7	7	7	7	7
Во сколько раз критерий «давление» значительнее критерия «сопротивление»?	9	9	9	9	9	9	9
Во сколько раз критерий «давление» значительнее критерия «структура»?	9	9	9	9	9	9	9
Во сколько раз критерий «давление» значительнее критерия «температура кипения»?	2	4	4	2	2	4	3
Во сколько раз критерий «давление» значительнее критерия «температура конденсации»?	4	3	2	2	3	4	3
Во сколько раз критерий «сопротивление» значительнее критерия «структура»?	2	2	2	2	2	2	2
Во сколько раз критерий «температура кипения» значительнее критерия «сопротивление»?	5	7	6	6	4	8	6
Во сколько раз критерий «температура кипения» значительнее критерия «структура»?	7	6	5	6	6	6	6
Во сколько раз критерий «температура конденсации» значительнее критерия «сопротивление»?	5	4	6	5	6	4	5
Во сколько раз критерий «температура конденсации» значительнее критерия «структура»?	6	6	6	6	6	6	6
Во сколько раз критерий «температура конденсации» значительнее критерия «температура кипения»?	3	2	5	2	3	3	3

Эксперты отвечают одним из чисел для сравнения, представленных в 9-ти балльной шкале Т. Саати на основании имеющихся у них знаний и накопленного опыта. Они работают независимо друг от друга, а их оценки (суждения) усредняются и заносятся в таблицы парных сравнений. Расчет среднего

балла на основе средней арифметической простой позволяет получить результаты, отражающие согласованность экспертных суждений.

На основании средних оценок, полученных из результатов опроса шести экспертов, можно получить суждения парного сравнения по критериям окружающей среды, теплоносителя и рабочего тела относительно цели повышения интенсивности тепломассопереноса. При выставлении баллов эксперты руководствовались соответствующими умозаключениями, на основании которых составляется матрица попарных сравнений. Результаты этих логических операций авторы планируют представить в следующей публикации.

Выводы

Методом анализа иерархий установлена взаимосвязь между основными термодинамическими и теплофизическими параметрами различных критериев, которые оказывают существенное влияние на повышение интенсивности тепломассопереноса при выборе эффективной энергосберегающей модели ВТН.

Решение проблемы выбора модели ВТН для повышения энергоресурсосбережения при использовании идеальных единиц измерения (стоимостные) позволяет из технической системы «режим работы – затраты» перевести в экономическую задачу как система «эффективность – стоимость». В этой связи необходимо пересмотреть иерархию проблемы, так как имеются общая цель и одинаковые альтернативы. Это позволит установить новые взаимосвязи между критериями (контурными) и получить их приоритет.

Решающим преимуществом МАИ над большинством существующих методов оценивания альтернатив является четкое выражение суждений экспертов, а также ясное представление структуры проблемы: элементов и взаимозависимостей между ними. При идентификации критериев желательно изначально обосновать их выбор и ранжировать по степени значимости их влияния на главную цель. Это оказывает влияние на правильную постановку и ориентацию вопросов для составления анкеты экспертам.

Таким образом, корректная оценка суждений играет значительную роль в достоверности и показателности конечных результатов экспертизы, на основе которой составляются таблицы парных сравнений. Участие нескольких экспертов позволяет придти к компромиссам и достигать лучшей в целом согласованности.

Библиографический список

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278с.



2. Сравнительный анализ комбинированных режимов работы ВТН для малоэтажных строений в текстильной отрасли / Р. М. Алоян, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 5(371). – С. 324-328. – EDN YUPWNJ.
3. Теория и практика решения задач: Приоритеты в системе управления ЖКХ: Учебно-методическое пособие / Макаров Д.В., Зайцева И.А., Андреева О.Р., Татиевский П.Б.- Иваново: ОАО «Издательство «Иваново», 2013 - 83с.
4. Федосов, С. В. Рециркуляционный воздушный тепловой насос с рекуперацией: опыт применения / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2020. – № 8. – С. 54-57. – EDN PCTINR.
5. Федосов, С. В. Эффективность конструкции смесительной камеры при совместной работе с воздушной теплонасосной системой теплоснабжения помещений / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. А. Емелин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2021. – № 1(65). – С. 94-100. – DOI 10.6060/snt.20216501.0012. – EDN ZQDOAJ.
6. Федосов, С. В. О некоторых особенностях управления в схеме "воздушный тепловой насос - электронагреватель" для целей повышения энергоэффективности / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева // Приборы. – 2020. – № 11(245). – С. 38-42. – EDN ZHBJWP.
7. Высокотехнологическая система воздушного теплового насоса "три в одном" для малоэтажных и коттеджных строений / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева, В. А. Емелин // Приборы. – 2020. – № 2(236). – С. 49-53. – EDN AFNQZT.
8. Федосов, С. В. Эффективность конструкции смесительной камеры при совместной работе с воздушной теплонасосной системой теплоснабжения помещений / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. А. Емелин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2021. – № 1(65). – С. 94-100. – DOI 10.6060/snt.20216501.0012. – EDN ZQDOAJ.
9. Федосов, С. В. Использование низкопотенциальной теплоты окружающего воздуха в испарительно- конденсационном блоке воздушного теплового насоса / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. А. Воронов // Приволжский научный журнал. – 2019. – № 3(51). – С. 37-45. – EDN MAOKIK.
10. Федосеев, В. Н. Информационно-аналитический подход к решению сложных слабоструктурированных задач методом анализа иерархий (МАИ) / В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений : Сборник научных трудов / Ивановский государственный политехнический университет. Том Выпуск 8. – Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2019. – С. 72-82. – EDN KWLNVF.
11. Федосеев, В. Н. Экспертиза объектно-пространственного моделирования ВТН методом анализа иерархий / В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений : Сборник научных трудов / Ивановский государственный политехнический университет. Том Выпуск 8. – Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2019. – С. 136-152. – EDN DDVTM.
12. Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Loginova, S.A., Voronov, V.A. Energy-Efficient State of the Room Microclimate with a Combined Heat Pump Air Exchange System and Built-in Sanitary and Hygienic System // Smart Innovation, Systems and Technologies, 2022, vol. 272, С.555–561
13. Комплексное теплообеспечение и устойчивое состояние тепловлажностной среды внутри помещения с уровнем качества co_2 / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. А. Воронов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2022. – № 1(69). – С. 76-82. – DOI 10.6060/snt.20226901.00010. – EDN PSWTHX.
14. Качество воздухообмена в помещении с эффектом очищения окружающей среды / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, С. А. Логинова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2022. – № 4(72). – С. 69-74. – DOI 10.6060/snt.20227204.00010. – EDN ANHWBI.
15. Федосов, С. В. Цифровая модульно-структурная схема воздушной теплогенерации в малоэтажных строениях / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : Сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – С. 908-914. – EDN EGNIEB.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

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

doi:10.51608/26867818_2023_1_139

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ*

© Авторы 2023

ORCID: 0000-0002-3850-4285

AuthorID: 815775

SPIN: 7611-2065

AuthorID: 611777

Scopus: 57090823400

SPIN: 2614-9180

AuthorID: 667367

ХАРЧЕНКО Алексей Игоревич

кандидат технических наук, доцент

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, Москва)*

ХАРЧЕНКО Игорь Яковлевич

доктор технических наук, профессор

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, Москва)*

МУРТАЗАЕВ Сайд-Альви Юсупович

доктор технических наук, профессор

*Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова;
Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук
(Россия, Грозный)*

САЛАМАНОВА Мадина Шахидовна

кандидат технических наук, доцент

*Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова;
Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук
(Россия, Грозный)*

Аннотация. Современное развитие геотехнических работ на основе цементационного упрочнения и уплотнения грунтов, требует повышения их конкурентоспособности путем создания и широкого внедрения в промышленную практику строительных материалов на основе безобжиговых вяжущих, взамен энерго – и ресурсоемкого портландцемента. Разработка составов бесклинкерных вяжущих является рациональным технологическим мероприятием, позволяющим расширить сырьевую базу строительства, используя доступный, местный ресурс, что особенно значимо для регионов, в которых существует огромный дефицит портландцемента из-за отсутствия функционирующих цементных предприятий.

В ходе комплексных исследований авторы приходят к выводу об эффективности применения бесклинкерных вяжущих систем в геотехническом строительстве.

Ключевые слова: строительная отрасль; бесклинкерные вяжущие; геотехническое строительство; строительные материалы; строительное материаловедение

Для цитирования: Применение бесклинкерных вяжущих в геотехническом строительстве / А.И. Харченко, И.Я. Харченко, С.-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 139-146. doi:10.51608/26867818_2023_1_139.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

APPLICATION OF CLINKER-FREE BINDERS IN GEOTECHNICAL CONSTRUCTION

© The Author(s) 2023

KHARCHENKO Alexey Igorevich

candidate of technical sciences, associate professor
National Research Moscow State University of Civil Engineering
(Russia, Moscow)

KHARCHENKO Igor Yakovlevich

doctor of technical sciences, professor
National Research Moscow State University of Civil Engineering
(Russia, Moscow)

MURTAZAEV Said-Alvi Yusupovich

doctor of technical sciences, professor
Grozny State Oil Technical University M.D. Millionshchikov;
Complex Research Institute named after
H.I. Ibragimov Russian Academy of Sciences
(Russia, Grozny)

SALAMANOVA Madina Shahidovna

candidate of technical sciences, associate professor
Grozny State Oil Technical University M.D. Millionshchikov;
Complex Research Institute named after
H.I. Ibragimov Russian Academy of Sciences
(Russia, Grozny)

Annotation. Nowadays, development of geotechnical works, which are based on cementation hardening and compaction of soils, requires competitiveness increasing by creating such building materials as harmless binders and widely introducing them into industrial practice instead of energy-intensive and resource-intensive Portland cement. The development of clinker-free binder is a rational technological undertaking that allows to expand the raw material base of construction using an affordable local resource, which is especially significant for regions with a huge shortage of Portland cement due to the lack of functioning cement plants. In the course of complex research, the authors have come to the conclusion about the effectiveness of clinker-free binding systems in geotechnical construction.

Keywords: construction industry; clinker-free binding; geotechnical construction; building materials; building materials science

For citation: Application of clinker-free binders in geotechnical construction / A.I. Kharchenko, I.Ya. Kharchenko, S.-A.Yu. Murtazaev, M.Sh. Salamanova // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 139-146. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_139.

Технология получения бесклинкерных вяжущих веществ, как на основе шлаков черной металлургии, так и тонкодисперсных горных пород алюмосиликатной природы имеет признанный многолетний опыт применения в строительном материаловедении [1-2].

Положительным звеном развития бесклинкерной технологии вяжущих материалов можно считать использование, как природного, так и техногенного сырья, к которому относят наиболее часто встречающиеся в природе горные породы, такие как известняки, глины, песчаники, опоки и др.; остатки горнопромышленного комплекса по производству нерудных строительных материалов; отходы заво-

дов по изготовлению облицовочного камня; высокодисперсные хвосты горно-обогатительных комбинатов и др. [3].

Из всего получаемого на Земле этого минерального сырья (100 млрд в год) в качестве продукта общественного потребления применяется только 2%, а оставшиеся 98% – в химически слабоизмененном состоянии – являются отходами, ухудшающими экологическое состояние окружающей среды [4]. На территории России ежегодно образуются около 8 млрд. тонн отходов, при этом, накопившихся только в твердом виде, хранится в отвалах и хранилищах около 80 млрд. тонн. По всей стране распространены отходы горно-обогатительных комбинатов, золы и



шлаки промышленности энергетики, цветной и черной металлургии и составляют они большую долю твердых отходов, из них вторично возвращается в технологический цикл всего лишь 8-10%, а остальная часть захороняется на пригодных территориях, нанося вред окружающей среде и человечеству [5].

При этом установлено, что ключевым звеном в формировании структуры цементного камня является шлак в тонкодисперсном виде, активированный различными методами. При этом активированный шлак рассматривается в качестве химически активной искусственной системы, имеющей, в отличие от естественных горных пород химический состав близкий к портландцементному клинкеру и способность к гидратационному затвердеванию. Наилучшими активаторами твердения шлака являются щелочесодержащие компоненты. Щелочная активация шлаков применялась для получения на их основе высокопрочных материалов, и привела к появлению шлакощелочных цементов и бетонов. Однако стремление к созданию высокопрочных шлакощелочных вяжущих, которые предполагают существенный расход щелочных активаторов (поташа, кальцинированной и каустической соды, щелочей, силикатов щелочных металлов), расход которых достигает 8 – 12 % от массы шлака, существенно сдерживало их широкое применение в строительстве. В этой связи, геотехническое и подземное строительство является наиболее эффективной областью применения шлакощелочных вяжущих, где отсутствуют требования по исключению высолообразования, обеспечению заданного уровня трещиностойкости, строгой воспроизводимости минерального состава шлаков и стабильности их свойств.

Комплексное использование подземного пространства застроенных городских территорий позволит обеспечить эффективные транспортные

коммуникации, оптимальные условия труда, быта и отдыха населения, создание комфортной окружающей среды в подземных сооружениях. Для решения задач, связанных с освоением подземного пространства, применяются различные методы уплотнения и упрочнения грунтов, но подспорьем может быть и использование щелочных цементов. В этой связи, замена традиционного дорогого портландцемента на щелочное вяжущее является значительным резервом повышения технико-экономической эффективности работ по уплотнению и упрочнению грунтов по технологии струйной цементации, кроме того, грунтовые воды в условиях плотной городской застройки, являются довольно опасными для клинкерного вяжущего, а для щелочных композиций могут служить дополнительным активирующим фактором [9; 12; 19]. При этом, как показывает анализ результатов выполненных исследований и многолетнего опыта практического применения технологии струйной цементации, прочность грунтобетонных массивов главным образом определяется не активностью применяемых вяжущих, а их расходом на единицу измерения формируемого грунтобетонного массива (рис. 1). Причём интенсивность набора прочности, учитывая значительную продолжительность строительного цикла при цементации грунтов, не требует привлечения дополнительных ресурсов для ускорения твердения бесклинкерных вяжущих [9-19].

Теоретические основы применения бесклинкерных вяжущих и бетонов на их основе в строительстве изложены в трудах Г. Кюля, Дж. Давидовича, В.Г. Глуховского, П.В. Кривенко [1-2]. В конце 70 годов прошлого века Дж. Давидович ввёл понятие геополлимерных систем, основанных на щелочной активации глинистых пород с образованием щелочных алюмосиликатных полимеров [3]. Бесклинкерная технология

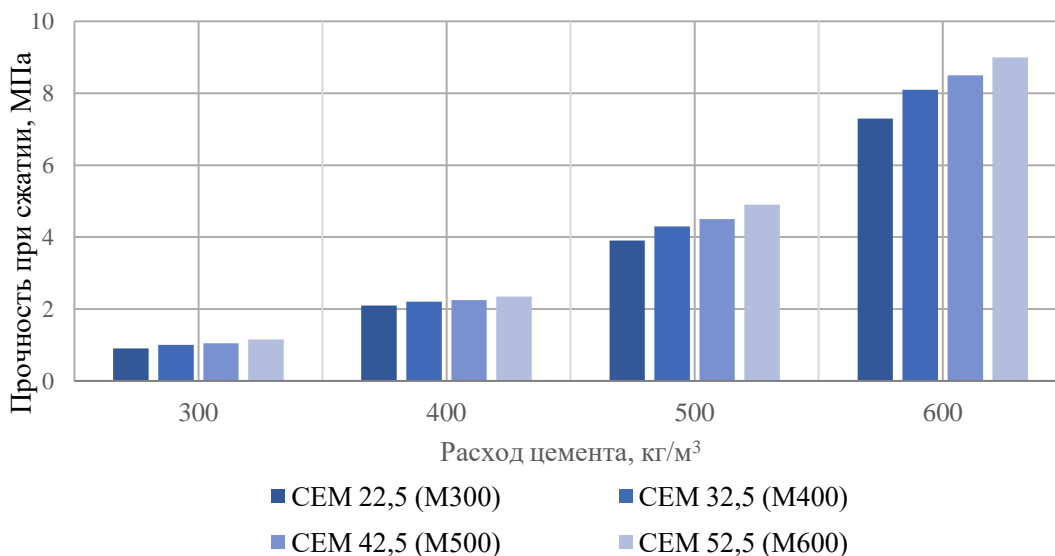


Рис. 1. Прочность при сжатии грунтобетона при струйной цементации



не стоит на одном месте, и в настоящее время исследованы и разработаны различные способы активации потенциального сырья для щелочных систем, предусматривающие механическое, химическое или механохимическое воздействия на его структуру [5–8].

И для развития подземной инфраструктуры, уплотнением и упрочнением грунтовых оснований, были проведены исследования по разработке составов бесклнкерных вяжущих связок на основе алюмосиликатных каолиновых глин, подвергнутых механической, термической и щелочной активации. Исследовалась высокоалюминатная каолиновая глина, минеральный состав которой представлен такими минералами, как каолинит $Al_2O_3 - 2SiO_2 - 2H_2O - 81\%$, монтмориллонит – 18 %, примеси – 1 %. После предварительного высушивания в течение 2 часов в сушильном шкафу при температуре 105°C глину и подвергали тонкому измельчению в роликовом помольном агрегате в течении 10 минут для повышения дисперсности и раскрытия центров кристаллизации, удельная поверхность составила 640 м²/кг. На следующем этапе каолиновую глину прогревали в муфельной печи при температуре 600 – 650°C, с целью образования высокоактивного метакаолина. В качестве заполнителя использовали кварцевый песок с модулем крупности 1,9, щелочной активатор – натриевое жидкое стекло плотностью 1,42 г/см³, силикатным модулем 2,8, рН =12,8. Кроме того, на основе метакаолина подготавливались композиционные вяжущие в состав которых вводились гидратная известь, опока и сульфат натрия, обеспечивающие активацию метакаолина. Кроме того, присутствие сульфатного компонента в составе композиционного вяжущего на основе метакаолина, обеспечивает образование этtringита, который обеспечивает защиту инъекционных смесей от седиментации и расслоения при выполнении инъекционных работ.

Таблица 1. Основные свойства инъекционных вяжущих систем

№ п/п	Наименование показателя	Вяжущие на основе метакаолина				
		МК-1	МК-2	МК-3	МК-4	
1	Нормальная густота цементного теста, %	42	53	44	41	
2	Срок схватывания, мин: начало конец	42	29	36	49	
		66	45	54	73	
3	Прочность при сжатии, МПа:					
		3 сут.	5,3	8,4	9,2	10,5
		7 сут.	13,6	14,3	18,6	21,4
		28 сут.	18,9	26,5	31,7	34,2

Примечание: состав вяжущего: МК-1 – метакаолин 80% + жидкое стекло 20%; МК-2 – метакаолин 50% + гидратная известь 30% + сульфат натрия 20%; МК-3 – метакаолин 40% + опока 40% + сульфат натрия 20%; МК-4 – метакаолин 35% + опока 45% + сульфат натрия 20%.

В таблице 1 представлены результаты физико-механических свойств композитов на вяжущих инъекционных системах «каолиновая глина – щелочной активатор», в которых каолиновую глину использовали в состоянии механо– и термоактивации.

Электронно-зондовые исследования, проводимые на растровом электронном микроскопе VEGA II показали, что композиция на основе МК-1 характеризуется тонкокристаллической структурой (рис. 2а) с агрегативным распределением частиц (рис. 2б), местами переходящей в массивную скрытокристаллическую массу (рис. 2в).

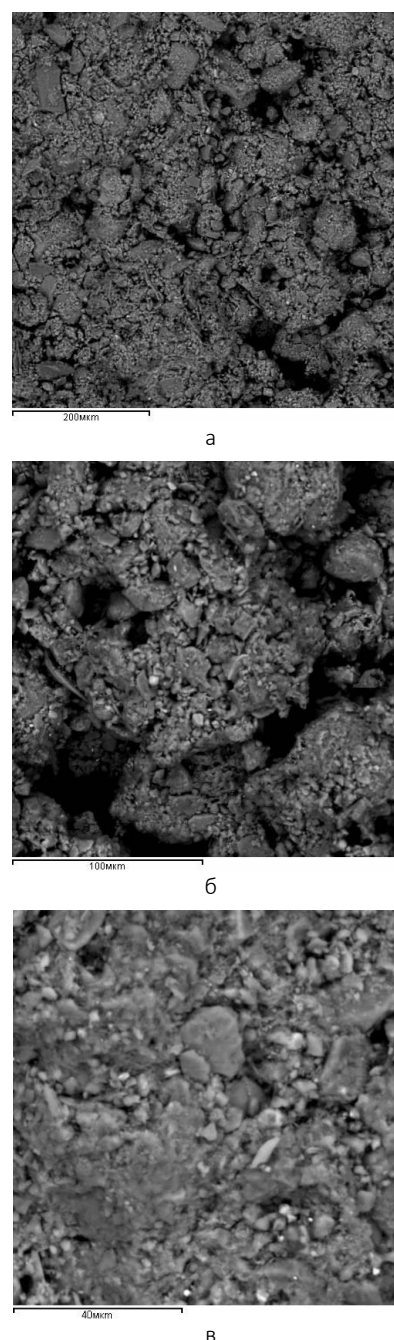


Рис. 2. Микростроение композиции на основе вяжущей связки МК-1 «термокаолиновая глина – Na_2SiO_3 »

Результаты рентгенофазового качественного анализа (РФА), выполненного на дифрактометре «ARLX'TRA» представлены на дифрактограмме (рис. 3). Анализ дифрактограммы указывает на присутствие в качестве основных фазовых компонентов кварца, близкого к альбиту плагиоклаза, слюды, кальцита и цеолита. Параметры межплоскостных расстояний слюды, характеризующееся смещением в более высокоугловую область относительно типичных для мусковита (рис. 2, карточка PDF 6-263), указывают на принадлежность к ряду мусковита – парагасита. Электронно-зондовые исследования чешуек слюд выявляют их переменных со-

став и постоянное присутствие натрия. Цеолит по кристаллоструктурным параметрам наиболее близок к гаррониту (или тетрагональной фазе $\text{Na}_{3,6}\text{Al}_{3,6}\text{Si}_{12,4}\text{O}_{32} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ($d = 7,10(010), 3,16(301)$)); в районе $\sim 26^\circ$ ($d \sim 3,424$) присутствует небольшая флуктуация, соответствующая яркому пику анальцима, что позволяет предполагать его наличие в очень незначительном количестве.

Главными структурообразующими фазами выступают гидраты натриевых алюмосиликатов кальция (обычно содержащих калий и железо) (рис. 4, табл. 2), среди которых отмечаются тонкочешуйчатые слюдистые (серцитовые) агрегаты.

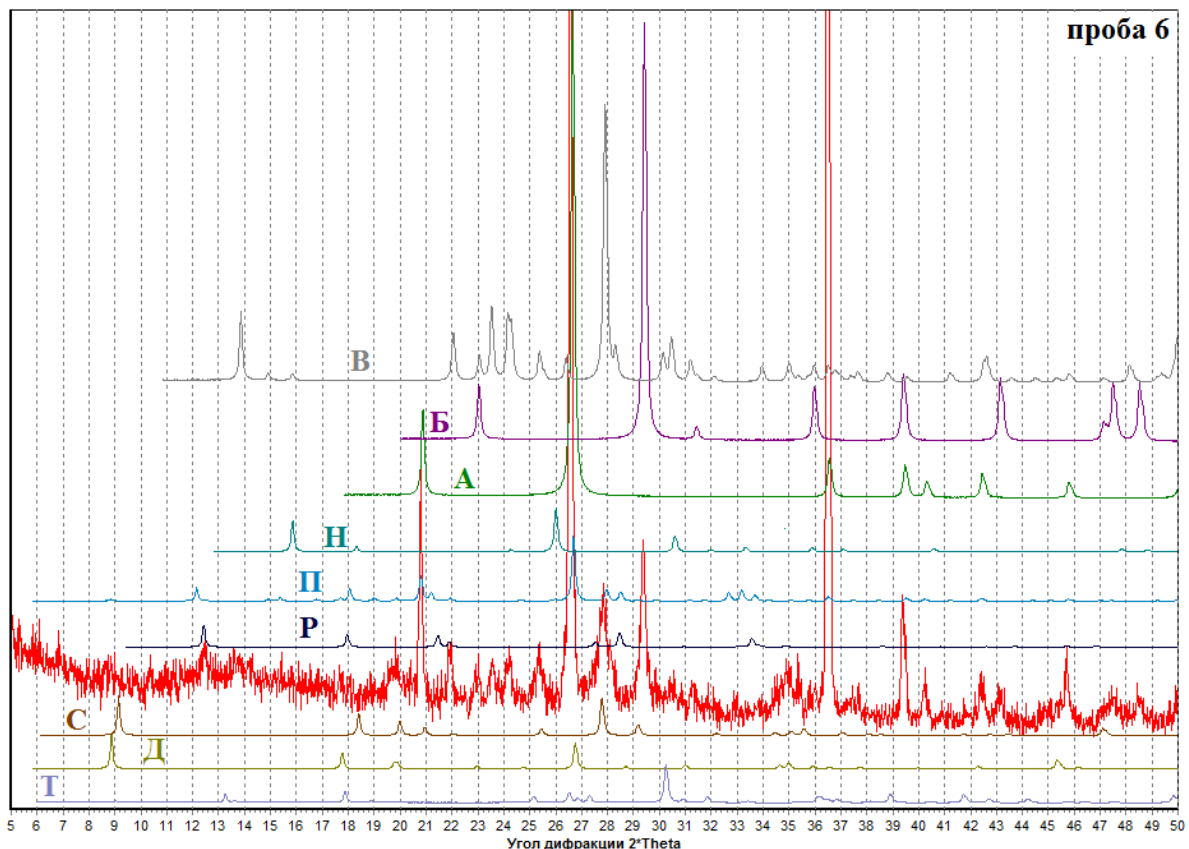
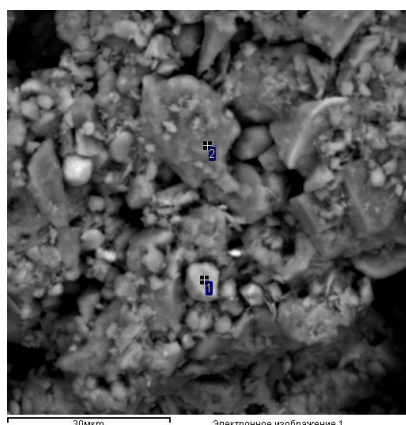


Рис. 3. Дифрактограмма образца в сопоставлении с данными базы PDF-2. Приведенные фазы сравнения: А – кварц, Б – кальцит, В – альбит, Д – мусковит, Н – анальцим, Р – гарронит, С – парагонит, Т – фошagit



Спектр EDX

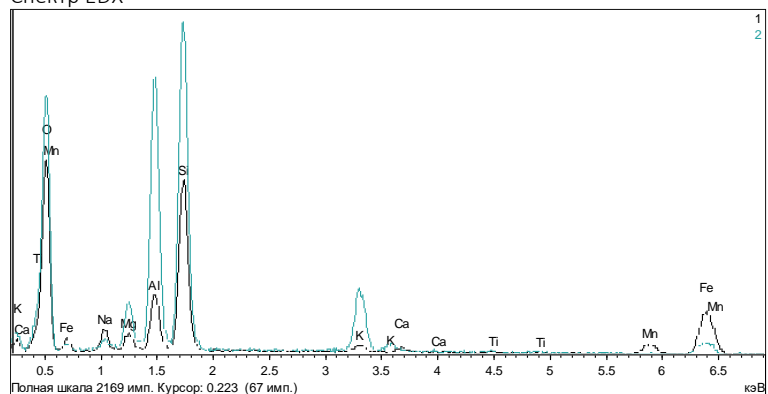


Рис. 4. Гидраты алюмосиликатов кальция основной массы



Таблица 2. Состав основных фаз, в вес. % (места анализа указаны на рис. 4)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итого
1	5.59	3.67	11.37	38.52	1.18	0.82	0.59	5.08	25.20	92.01
2	1.08	4.70	29.02	46.22	7.19	-	-	-	4.82	93.02

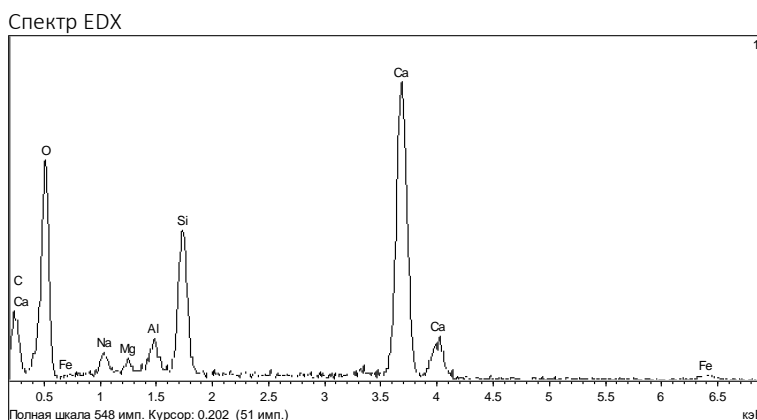
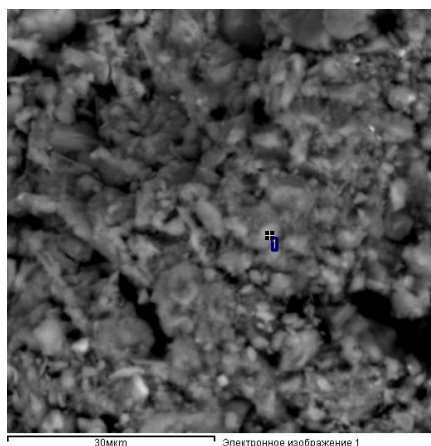


Рис. 5. Гидраты силикатов кальция основной массы

Таблица 3. Состав основных фаз (гидрат силиката кальция), в вес. % (места анализа указаны на рис. 5)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO	Итого
1	4.11	1.98	4.14	24.38	53.02	1.70	89.33

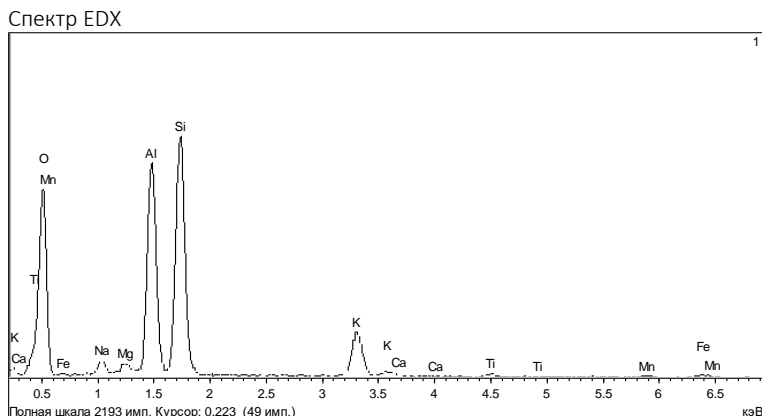
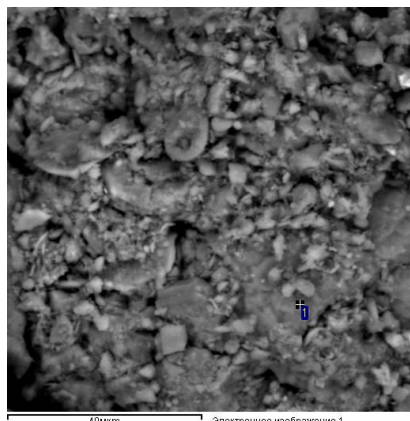


Рис. 6. Слюдистый агрегат

Таблица 4. Состав слюдяного агрегата, в вес. % (места анализа указаны на рис. 6)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итого
1	2.55	1.23	32.90	49.97	7.44	0.23	1.05	1.00	1.45	97.82

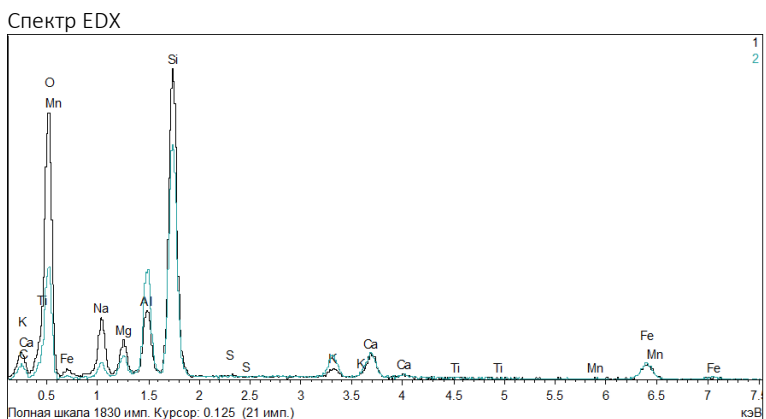
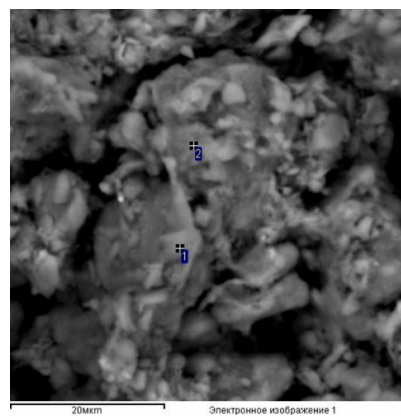


Рис. 7. Гидраты алюмосиликатного состава с повышенным содержанием железа, магния и титана на поверхности агрегата

Таблица 5. Состав обогащенных железом и магнием алюмосиликатных агрегатов (места проведения микроанализа указаны на рис. 7)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итого
1	9.37	5.48	10.23	53.97	0.41	1.24	4.48	0.23	0.10	7.58	93.09
2	2.62	3.06	16.12	41.92	0.19	3.24	4.42	0.21	0.05	7.95	79.80

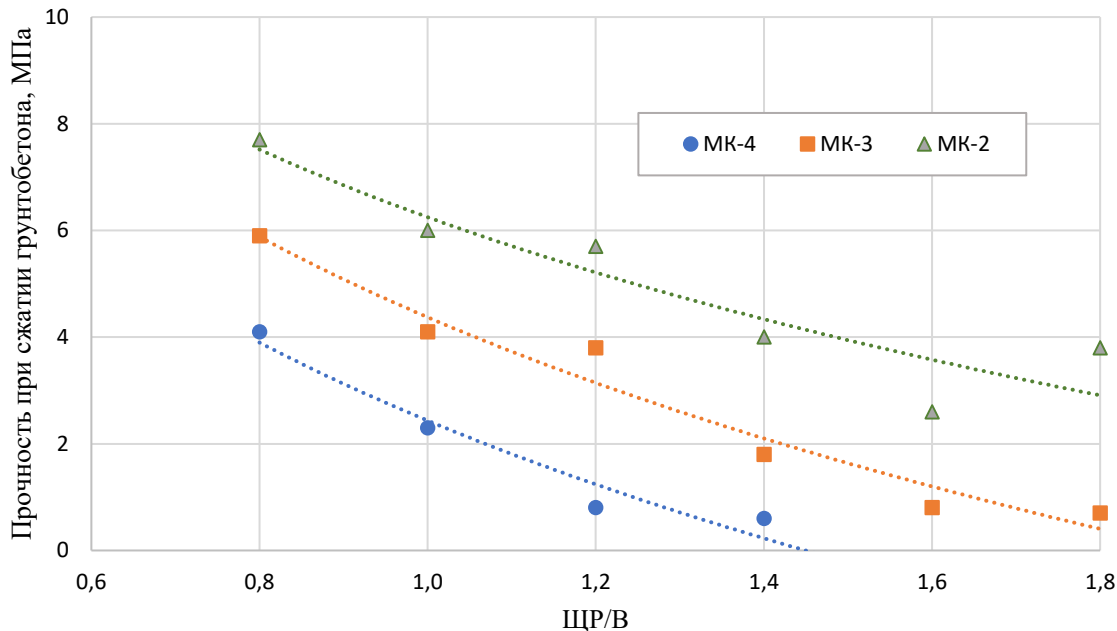


Рис. 8. Влияние ЩР/В на прочность грунтобетона при струйной цементации

На поверхности агрегатов присутствуют аморфные или слабокристаллизованные гидраты алюмосиликатного состава, не диагностируемые электронно-зондовыми методами (рис. 7, табл. 5).

Результаты анализов электронной микроскопии цементного камня на вяжущей системе «термоактивированные каолиновые глины – щелочной затворитель» показали, что основными структурообразующими фазами выступают гидраты натриевых алюмосиликатов кальция, типичными представителями которых являются анальцит, гарронит, фошагит, паргонит; подтверждено присутствие кальциевых силикатов, соединений кальцита, кварца, разновидностей полевого шпата – альбита, минералов группы слюды – мусковита и гидромусковита, гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция.

Процесс структурообразования можно охарактеризовать следующей цепочкой геопретобразований диспергация → коагуляция → конденсация → кристаллизация. Именно щелочная среда способствует самопроизвольной диспергации механо- и термоактивированных алюмосиликатных каолиновых глин, с образованием в результате массооб-

менных реакций коагуляционных алюмокремнегидрогелей натрия и калия, с последующим развитием на их основе конденсационно-кристаллизационных твердых фаз труднорастворимых и прочных соединений.

На основании анализа результатов выполненных исследований установлены зависимости влияния отношения щелочного раствора к вяжущей порошкообразной части (ЩР/В) инъекционных смесей на основе метакеолина на прочность формируемых грунтобетонных массивов (рис. 8).

При этом, прочность формируемых грунтобетонных массивов может изменяться в достаточно широком диапазоне от 0,5МПа до 9,0 МПа в зависимости поставленных задач в соответствии с расчётным обоснованием.

Таким образом, выполненные исследования доказывают эффективность применения бесклнкерных вяжущих систем в геотехническом строительстве, что позволит существенно повысить технико-экономическую эффективность работ по уплотнению и упрочнению грунтов при освоении подземного пространства в условиях плотной городской застройки.



Библиографический список

1. Глуховский, В.Д. Комплексное использование доменных и электротермофосфорных шлаков в производстве высокопрочных цементов и бетонов / В.Д. Глуховский, И.А. Пашков, В.С. Григорьев // Известия Вузов: Строительство и архитектура, 1980. – № 5. – С.62–66.
2. Кривенко, П.В. Эксплуатационные свойства бетона на шлакощелочном цементе / П.В. Кривенко // Строительные материалы и конструкции; – Киев: 1980. – № 4. – С.23.
3. Davidovits, J. Geopolymeric cement based on fly ash and harmless to use / J. Davidovits, R. Davidovits, M. Davidovits // United States Patent: US 8,202,362 B2. USA, 2012.
4. Ерофеев, В. Т. Изучение процессов структурообразования и деструкции композитов контактно-конденсационного твердения на основе боя стекла / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. В. Казначеев // XXXV огаревские чтения : Материалы научной конференции: в 2-х частях, Саранск, 04–09 декабря 2006 года. Том Часть 2. – Саранск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва", 2007. – С. 219-224. – EDN SGVHDT.
5. Геополимерное вяжущее на основе керамзитовой пыли для инъекционных смесей в геотехническом строительстве / С. А. Князева, Г. И. Яковлев, И. Я. Харченко [и др.] // Строительные материалы. – 2021. – № 5. – С. 63-68. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-791-5-63-68. – EDN ZDUXJC.
6. Саламанова, М. Ш. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии / М. Ш. Саламанова, С. А. Ю. Муртазаев, М. Р. Нахаев // Строительные материалы. – 2020. – № 1-2. – С. 73-77. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77. – EDN MWMPHT.
7. Муртазаев, С. А. Ю. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы / С. А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова // Приволжский научный журнал. – 2018. – № 2(46). – С. 65-70. – EDN XRVGTJ.
8. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing / M. Sh. Salamanova, S. A. Yu. Murtazaev, A. Alashanov, Z. Ismailova // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019), Belgorod, 23–27 сентября 2019 года. – Belgorod: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – P. 385-388. – EDN ZXQWOD.
9. Панченко А.И., Харченко И.Я., Алексеев С.В. Микроцементы. – М.: Издательство АСВ, 2014.
10. Долев, А. А. О применении микроцементов в геотехническом строительстве / А. А. Долев, И. Я. Харченко // Геотехника. – 2013. – № 4. – С. 32-36. – EDN QUFWMI
11. Панченко, А. И. Особо тонкодисперсное минеральное вяжущее "Микродур": свойства, технология и перспективы использования / А. И. Панченко, И. Я. Харченко // Строительные материалы. – 2005. – № 10. – С. 76-80. – EDN HZFUIT.
12. Харченко И.Я., Алексеев В.А., Исрафилов К.А., Бетербиев А.С.Э. Современные технологии цементационного закрепления грунтов//Вестник МГСУ. 2017. – №5(104). – С. 552-558.
13. Структура и свойства грунтобетонных массивов на основе наномодифицированных микроцементов / С. А. Кривчун, Е. А. Кривчун, М. И. Баженов [и др.] // Жилищное строительство. – 2016. – № 9. – С. 55-58. – EDN WTHOGB.
14. Иванова, И. С. Сравнение лабораторных методов оценки динамики набора прочности инъекционных растворов на основе микроцемента / И. С. Иванова, А. П. Пустовгар, С. В. Нефедов // . – 2016. – № 49. – С. 69-77. – EDN XIRYYN.
15. Кочев, Д. З. Особенности инженерно-геологических изысканий и опыт повышения несущей способности загрязненных грунтов в городских условиях Московской области / Д. З. Кочев, С. В. Алексеев, В. А. Алексеев // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи : Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН, Москва, 24–25 марта 2016 года / Ответственный редактор В.И. Осипов. Том Выпуск 18. – Москва: Российский университет дружбы народов, 2016. – С. 305-309. – EDN VULRQT.
16. Ибрагимов М.Н., Семкин В.В., Шапошников А.В. Некоторые проблемы закрепления грунтов растворами из микроцементов // Academia. Архитектура и строительство. 2016.– №4. – С.114-120.
17. Иванова, И. С. Особенности процесса гидратации микроцементов / И. С. Иванова, А. П. Пустовгар, А. В. Еремин // НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ и ИННОВАЦИИ : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Челябинск, 28 декабря 2015 года / Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. Том 5. – Челябинск: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2015. – С. 35-42. – EDN VDYJHF.
18. Байдаков, О. С. Применение материалов "MIKRODUR" для инъекционных работ при укреплении грунтов и усилении конструкций / О. С. Байдаков // . – 2005. – № 6. – С. 34-38. – EDN VZKBNJ.
19. Harcenko A.I., Bagenov D.A., Sugkoev Z.A.: Kompositbindemittel für Hochdruckinjektionen bei wassergesättigten Boden. 19. Internationale Baustofftagung "IBAUSIL", 13.09.-16.09.2015. – Weimar. – s. 367-374.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Обзорная статья

УДК 69; 502/504

ГРНТИ: 67. Строительство. Архитектура; 87: Охрана окружающей среды. Экология человека

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

doi:10.51608/26867818_2023_1_147

РОЛЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ В РЕАЛИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА»*

© Авторы 2023

SPIN: 3825-6514

AuthorID: 43534

ORCID: 0000-0003-0874-316X

ResearcherID: K-7539-2018

ХОЗИН Вадим Григорьевич

доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Татарстан, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань, e-mail: khozin.vadim@yandex.ru)

ЦЫГАНОВА Елена Алексеевна

главный эколог
ООО "Агроинвест"
(Россия, Казань)

Аннотация. В 2022 г. стартовал федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» (ЭЗЦ) или, то же самое по смыслу, «циркулярная экономика». Инициатором его и куратором явилась вице-премьер Правительства России Виктория Абрамченко, которая еще в январе в ходе мероприятий Гайдаровского форума сообщила об утверждении 24 декабря 2021 г. паспорта проекта ЭЗЦ, добавив, что на его реализацию будет направлено до 10 млрд. руб. Срок реализации проекта с 1 января 2022 г. по 31 декабря 2030 г. Достижения науки и техники (технологий), особенно в последние десятилетия создали иллюзию господства человека над природой, оставив ей лишь роль поставщика всего необходимого «ко двору его величества человека» (наиболее слабого элемента биосферы). Однако, на самом деле всё обстоит как раз наоборот. По мере своего научно-технического развития общество только усиливало свою зависимость от природных ресурсов, все технологии и машины зависят от них: им нужны нефть и природный газ, уголь, железная руда, вода и кислород, т.е. продукты, произведенные природой, причем нужны во всё больших количествах и объёмах. Выделена особая роль промышленности строительных материалов как наиболее материалоемкой среди всех других отраслей по объёму и разнообразию потребления продукции как собственной, так и целого ряда других отраслей. Сделан вывод: строительная отрасль, к которой базовое звено – стройиндустрия, как самая материалоемкая по объёму и разнообразию материалов и исходного сырья активно является самым мощным потребителем отходов. В реализации Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» этой промышленной отрасли принадлежит ведущая роль.

Ключевые слова: строительная отрасль; стройиндустрия; промышленность строительных материалов; экономика замкнутого цикла; утилизация отходов; циркулярная экономика; федеральный проект

Для цитирования: Хозин В.Г., Цыганова Е.А. Роль строительной индустрии в реализации федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 147-159. doi:10.51608/26867818_2023_1_147.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Review article

ROLE OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN THE IMPLEMENTATION OF A FEDERAL PROJECT "THE CLOSED-CYCLE ECONOMY"

© The Author(s) 2023

KHOZIN Vadim Grigorievich

doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Civil Engineering
(Russia, Kazan, e-mail: khozin.vadim@yandex.ru)

TSYGANOVA Elena Alekseevna

chief ecologist
LLC "Agroinvest"
(Russia, Kazan)

Annotation. In 2022, the federal project "The Closed-Cycle Economy" or, in the same sense, "circular economy" was launched. Its initiator and curator was Deputy Prime Minister of the Russian Government Victoria Abramchenko, who in January during the events of the Gaidar Forum reported the approval of the project passport on 24 December 2021. She added that it will cost up to 10 billion rubles for its implementation. Project implementation period is from January 1, 2022 to December 31, 2030. The achievements of science and technology, especially in recent decades, have created the illusion of human domination over nature, leaving it only the role of supplier of all necessary "to the court of his majesty of man" (the weakest element of the biosphere). However, the truth is quite the opposite. As society has evolved in science and technology, it has only increased its dependence on natural resources, all technologies and machines depend on them: oil and natural gas, coal, iron ore, water and oxygen, i.e. products produced by nature that society needs more and more. A special role of the construction materials industry as the most material-intensive among all other industries in terms of volume and variety of consumption of products both own and a number of other industries has been allocated. Concluded that the construction industry as the most material-intensive in volume and variety of materials and raw materials is objectively the most powerful consumer of waste. The implementation of the Federal project "The Closed-Cycle Economy" of this industrial sector has a leading role.

Keywords: construction sphere, building industry, building materials industry, closed closed-cycle economy, waste management, circular economy, federal project

For citation: Khozin V.G., Tsyganova E.A. Role of the construction industry in the implementation of a federal project "The closed-cycle economy" // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 147-159. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_147.

Федеральный проект ЭЗЦ направлен на формирование системного подхода к управлению вторичными ресурсами (материальными и энергетическими), полученными из отходов в промышленности и строительстве, а также повышению возможности использования вторичных ресурсов и сырья в расширении импортозамещения соответствующего сырья и материалов.

Вторичные ресурсы – виды отходов, которые или компоненты которых могут быть повторно использованы для производства товаров, выполнения работ, оказания услуг или получения энергии и которые получены в результате раздельного накопления, сбора или обработки отходов, либо образованы в процессе производства. Вторичное сырье – продукция, полученная из вторичных ресурсов и которая может использоваться в производстве другой продукции (за исключением пищевой) или иной хозяйственной деятельности.

В чем суть экономики замкнутого цикла, идущей на смену линейной экономики, в которой до сих

пор живет весь цивилизованный мир с начала 20 века (и даже раньше) и с основополагающими принципами которой расставаться не хочет и не спешит. Почему?

Да потому, что движущей силой линейной экономики является алчная потребительская сущность человека, а цель ее состоит в постоянном наращивании производства материальных продуктов из первичных природных ресурсов, в основном, не возобновляемых.

Суть линейной экономики выражается следующими действиями: «добывай – производи – потребляй – выбрасывай»

В 1972 г. был опубликован доклад Римскому клубу под интригующим названием «Пределы роста», а затем последовали ещё две книги тех же авторов первого доклада Донеллы Медоуз, Йоргена Рандерсена, Денниса Медоуз «За пределами роста» (1993 г.) и «За пределами роста: 30 лет спустя» (2004 г.). Основная мысль в них – человечество подошло к практической точке потребления ресурсов планеты. Пора бы



остановиться и подумать, как жить дальше. Чтобы не вымереть, как вымерли динозавры, обществу потребления пора бы поумерить аппетиты.



- take, make, waste -

Рисунок 1. Схема линейной экономики

Всеобъемлемость линейной экономики привела к глобальным экологическим проблемам: масштабным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу, в т.ч. пресловутых «парниковых» газов (на самом деле не влияющих на климат [1,2]), в водные системы (мировой океан, реки и озера), истощению природных ресурсов, образованию огромных объемов твердых отходов производства и потребления (ТКО), заполняющих гигантские площади полигонов и свалок. И к неэффективному управлению этими отходами.

По статистическим данным 2020 г. в Российской Федерации в год образуется 7 млрд. т. отходов производства и потребления, 60 млн т. ТКО, а всего на территории их накоплено 40 млрд т. Экономические потери от загрязнения окружающей среды в мире по данным аналитиков составляют 4-6 % мирового ВВП, а с учетом ущерба для здоровья людей 10-15 % [3-5].

Ускоряющийся рост населения Земли, ограниченность глобальных природных ресурсов, и безграничность их потребления ведут человечество в эколого-экономический тупик, предотвратить который возможно переходом всей экономики от линейной к циркулярной. [6-8]

Она, в отличие от линейной, основана на безотходном производстве и потреблении продукции, ее экологическом дизайне (конструировании), повторном использовании и восстановлении, переработки отходов для создания замкнутого жизненного цикла, в конце которого каждый продукт представляет собой потенциально возобновляемый ресурс.

Переход от линейной экономики к циркулярной болезненный, но он неотвратим, ведь для обеспечения приемлемого уровня жизни 10 млрд. жителей к 2050 г. понадобятся ресурсы трех планет Земля. А она у человечества всего одна! Нужны сов-

местные действия (в смысле целей) всех государств, хотя одновременность, согласованность и интенсивность перехода к ЭЗЦ нереальны. Но, как прозрачно заявил Морис Стронг – генеральный секретарь международной конференции по устойчивому развитию в г. Рио-де-Жанейро еще в 1992 г. «Мы выживем только все вместе, иначе не выживет никто!»



- take, make, reuse -

Рисунок 2. Модель циркулярной экономики

Сущность экономики замкнутого цикла заключается в стремлении повторить закрытую природную систему, в которой все, что произведено или использовано, полностью перерабатывается внутри системы так, что не возникает экологических проблем. Однако природные процессы (а речь идет о живой природе), при всем их многообразии и результативности, медленны и лишь некоторые из них применимы для создания замкнутого цикла в созданном человеком материальном мире – ноосфере. (Термин введен советским академиком Владимиром Ивановичем Вернадским в 1945 г. [9])

ЭЗЦ предполагает разделение материальных потоков на два вида: биологический, где циркулируют биологические материалы, которые могут быть беспрепятственно возвращены в биосферу для естественного распада, и технологический, в котором технические материалы (металлы, неорганика, синтетические органические полимеры), обладающие свойствами оставаться в эксплуатации без влияния на биосферу, могут быть повторно использованы и (или) переработаны. Приоритетом ЭЗЦ является меньшее потребление ресурсов из окружающей среды и меньшее их возвращение в нее в виде отходов.

Главная задача ЭЗЦ – сохранить ценность вещей, материалов и ресурсов в экономике как можно дольше. То, что в традиционной (линейной) экономике считается отходом, в ЭЗЦ является активом или ресурсом. Этого можно добиться тремя способами: полностью замкнуть производственный цикл (переработка материалов, восстановление товаров), максимально сузить цикл (улучшенный дизайн товаров, сокращение доли материалов при их производстве) или замедлить его (ремонт, сдача в аренду, совместное использование).

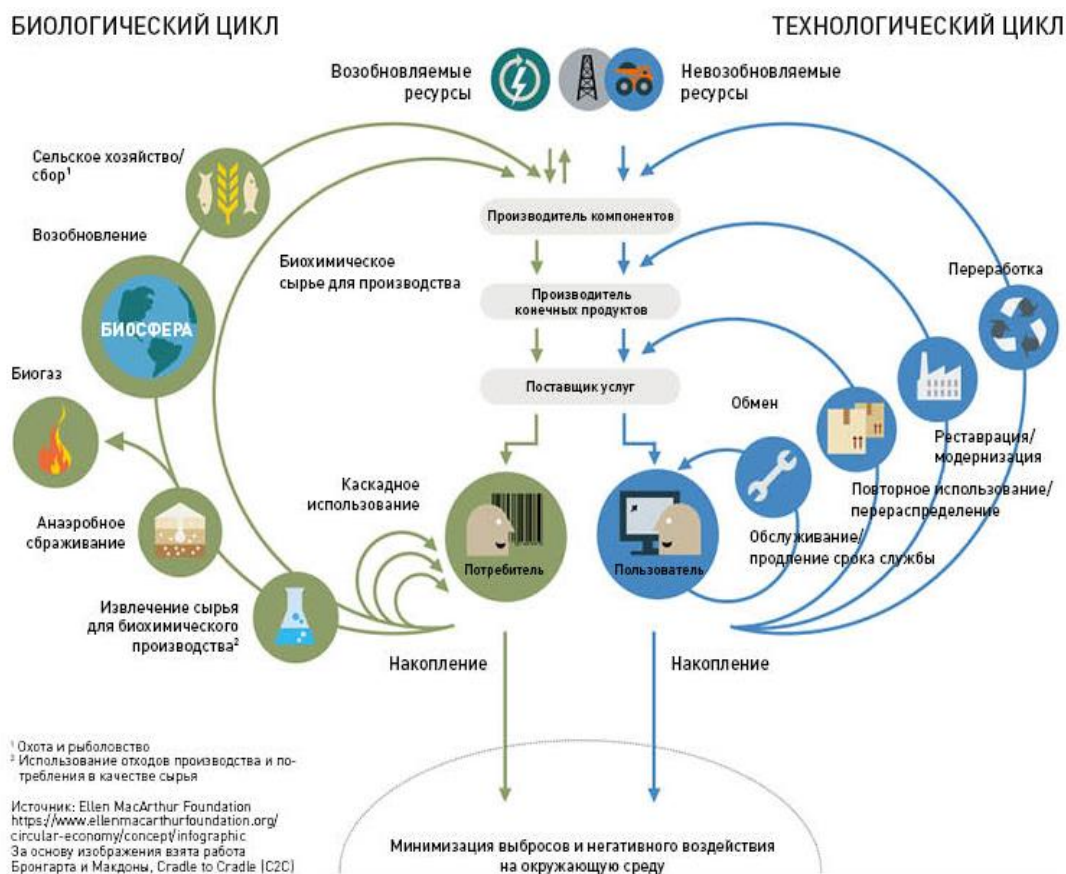


Рисунок 3. Схема технического и биологического цикла ресурсов и отходов в рамках циклической экономики

Одним из первых принципов циклической экономики – цивилизации «старейщиков» – сформулировал швейцарский экономист Вальтер Штахель — директор организации «Product – Life Institute» [10]:

Первый – «не ремонтируй то, что не сломалось»; – «не изготавливай то, что можно починить»; – «не отправляй на переработку то, что можно восстановить»

Второй – «сохраняй ценности, а не приумножай их» (продление сроков службы всех изделий резко замедляет рост потребления невозобновляемых природных ресурсов, от металлов до энергоносителей).

Третий – «продавай услуги, а не товар при сохранении собственности на всех этапах жизни изделия».

Циклическая (бережливая) экономика заинтересована в длительной работе не только изделий, но и квалифицированных работников, т.е. в хорошей системе здравоохранения (и увеличении пенсионного возраста).

В циклической экономике в отличие от линейной все взаимосвязано: отходы одного производства используют в новых производственных циклах другой компании или в других отраслях (**промышленный симбиоз**), а товары проектируются так, чтобы можно было проще и безопаснее для ОС

(окружающей среды) «вдохнуть в них новую жизнь» после старения (поломки) – восстановление, ремонт (даунсайклинг) или повторно запустить на рынок как уже новый по функциональному назначению продукт (апсайклинг).

Идея создания экономики, подобной природной экосистеме, в которой не существует отходов, и которые становятся пищей и источником роста чего-то нового родился на Западе еще в 60-х годах прошлого века; в 1970-е годы многие учёные, а также некоторые компании начали активно выступать в поддержку экономики замкнутого цикла, но долгие годы эта модель оставалась лишь идеей. И лишь в последние годы концепция ЭЗЦ получила широкое распространение: её сторонниками выступают международная консалтинговая компания McKinsey & Co. и Всемирный экономический форум (ВЭФ), а международные компании Unilever, Cisco Systems и Philips реализуют принципы циклической экономики [11]. В 2010 г. был основан Фонд Эллен Макауртур с целью ускорить переход к ЭЗЦ, некоторые из ключевых принципов которого являются: 1) полное исключение отходов; 2) различие расходных материалов и долговечных компонентов: биологические материалы должны вернуться в биосферу, а технические материалы – оставаться в эксплуатации как можно дольше; 3) нахождение способов повторного ис-



пользования материалов; 4) использование топливных систем с возобновляемыми источниками энергии; 5) создание конструкций, способных к последующей разборке и повторного использования, а также требующих минимальных усилий для повторного использования некоторых деталей продукта.

Безусловно, «торопливый» переход стран Европы на ЭЗЦ диктуется дефицитом природных ресурсов, в первую очередь, энергоносителей (угля, нефти, газа), высоким уровнем и промышленного развития и загрязнения окружающей среды при ограниченных размерах территорий стран ЕС (Европейского Союза) и Великобритании. Поэтому концепция ЭЗЦ активно поддерживается правительствами европейских стран. Ниже представлены основные причины такого активного развития циклической экономики [12]:

1. Нехватка ресурсов. По оценкам компании McKinsey & Co., к 2030 году средний класс увеличится на 3 млрд человек (самый большой скачок за всю историю). Эти потребители только увеличат использование конечных запасов энергии, материалов, продуктов питания и воды. Так как спрос на ресурсы растет в геометрической прогрессии, эксперты начинают предупреждать об их приближающейся нехватке. Запасы ключевых элементов, таких как золото, серебро, индий, иридий и вольфрам, могут быть исчерпаны в течение ближайших 50 лет. Вполне вероятно, что после этого в мире начнется нехватка пахотных площадей по мере роста спроса на хлопок и продовольственные культуры.

2. Стремительно растущие затраты сырья и энергии. Многие предприятия пострадали от массового роста цен на сырьевые материалы. Так, в период с 2002—2010 годов цены увеличились на 150 %. Более того, спрос на энергию продолжает расти, особенно среди новых индустриальных стран. Согласно данным доклада Министерства энергетики США, мировое потребление энергии, как ожидается, увеличится на 56 % в период между 2010 и 2040 годами [5].

3. Более совершенные технологии. Благодаря формирующимся «Интернету вещей» и инструментам больших технологий, производителям становится гораздо проще увидеть справедливую стоимость, которая ранее не была заметна в системе поставок.

4. Урбанизация. По оценке Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время около половины населения мира живет в городах, и этот показатель увеличится до 60 % к 2030 году [11]. Большая плотность населения также благоприятно влияет на переход к экономике замкнутого цикла. В городских районах могут быть размещены экономически эффективные системы для сбора продуктов, готовых к переработке.

5. Правительственное давление. Многие правительства и регулирующие органы берутся за подготовку законодательства, способствующего переходу к экономике замкнутого цикла. Европейский союз и Япония входят в число тех стран, которые уже ввели строгие законы, касающиеся утилизации и регулирования переработки отходов.

6. Новые потребительские понятия ценности и материализма. Глобальный экономический спад оказал сильное влияние на людей, действовавших по принципу «трачу сейчас, думаю потом». Сегодняшний покупатель более внимательно относится к тому, что приобретает и потребляет, старается найти более качественные товары, долгосрочные в использовании. Более того, люди постепенно становятся сознательнее в вопросе того, как то, что они потребляют, влияет на окружающую среду и общество. Они стараются найти способы покупать качественные продукты и не наносить ущерб природе.

Европейская комиссия 2 декабря 2015 года утвердила новый пакет законов по циклической экономике, включающий в себя пересмотренные законодательные инициативы в отношении отходов. Именно эти предложения должны ускорить переход Европейского союза к циклической экономике, которая повысит конкурентоспособность Европы на мировом рынке, будет способствовать устойчивому экономическому развитию и созданию новых рабочих мест. Пакет был представлен первым вице-президентом Европейской комиссии Франсом Тиммермансом, ответственным за устойчивое развитие, который заявил, что «в первую очередь циклическая экономика — это снижение количества отходов и защита окружающей среды, однако это еще и глубокая трансформация процесса работы всей экономики». План действий ЕС по переходу к ЭЗЦ охватывает весь цикл от производства и потребления продукции до утилизации отходов и использования вторичного сырья.

А что в нашей стране, что было и что стало? Гораздо раньше Европы и США, более 70-ти лет назад основные принципы циркулярной экономики были масштабно и эффективно реализованы в Советском Союзе после Великой Отечественной Войны при восстановлении разрушенных фашистами городов, сел и всего народного хозяйства на оккупированной территории нашей Родины, включая Украину, Белоруссию и западные области России (РСФСР). Эта хозяйственная деятельность выполнялась в соответствии с государственным 5-ти летним планом восстановления народного хозяйства СССР.

Во времена Советского Союза вторичными ресурсами занимался и распоряжался «всесильный» Госнаб СССР с мозговым центром отрасли ВИВРом (Всесоюзный институт вторичных ресурсов). Позже в России он последовательно трансформировался в новые ресурсосберегающие структуры вплоть до



Рисунок 4. Трансформация деятельности ВИВР Госнаба СССР в Российской Федерации



Рисунок 5. Прогнозы и проблемы, стоящие перед экономикой замкнутого цикла

НИИ «Центр экологической промышленной политики» Минпромторга РФ.

Ныне мы отстаем в этом вопросе от стран Запада, очевидно ещё и потому, что имеем огромную территорию и самый крупный природно-ресурсный потенциал в мире (одна четвертая часть), включая минерально-сырьевой, оцениваемый только по разведанным запасам в 28,5 трилл. долларов США (по прогнозируемому - 140 трилл. долларов). Наша страна благодаря этому способна обеспечивать успешное экономическое развитие за счет собственного природно-ресурсного потенциала на десятки лет вперед. [13] В РФ сохранились огромные территории не-

нарушенных хозяйственной деятельностью экосистем (восточно-сибирская тайга – 6 млн. км², Север – 2,8 млн. км²) – Это около 60 % Российской земли (такой высокий показатель есть только у Канады), а во всем мире площадь таких земель составляет 40 %.

Однако, не следует забывать, что богатая природными ресурсами Россия располагается между двумя центрами экологической нестабильности: Западной Европой и Китаем.

Вместе с тем, в нашей стране экономически развитые регионы, расположенные в европейской части – наиболее комфортной для проживания, испытывают интенсивное техногенное воздействие,



близкое к таковому в Западной Европе. Поэтому концепция перехода народного хозяйства на экономику замкнутого цикла становится актуальной и для РФ, свидетельством чему является стратегический Федеральный проект «ЭЗЦ – 2022». Ниже приводятся некоторые слайды (рис. 5) из презентации этого про-

екта Госсовету РФ под девизом «Экология – норма жизни».

Существующая ситуация в мире, прогнозы её изменения представлены на рис. 5, а возможности изменения экологических проблем путем реализации мероприятий ЭЗЦ – на рис. 6.



Рисунок 6. Возможности экономики замкнутого цикла

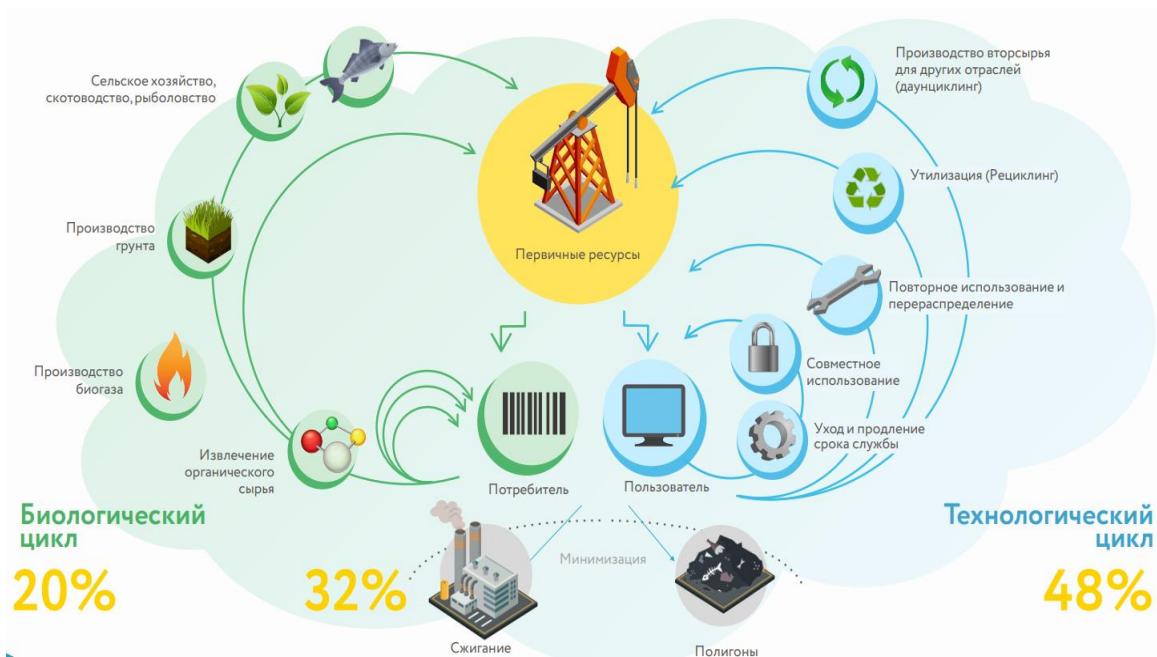


Рисунок 7. Как работает экономика замкнутого цикла в Германии



Сравнительная картина – реализации экономики замкнутого цикла в Германии, Швеции и России по двум потокам: биологическому и технологическому, а также сколько отходов сжигается и хранится на полигонах этих стран показана на рис. 7, 8, 9.

Как видно из этих рисунков, в Германии распределение по потокам: 20 %, 48 % и 32 % (сжига-

Федеральный проект ЭЗЦ включает шесть направлений:

- 1) Минимизация образования отходов (головное ведомство – Минприроды России)
- 2) Создание инфраструктуры по сбору отходов для вторичной переработки (головное ведомство ППК «РЭО»)

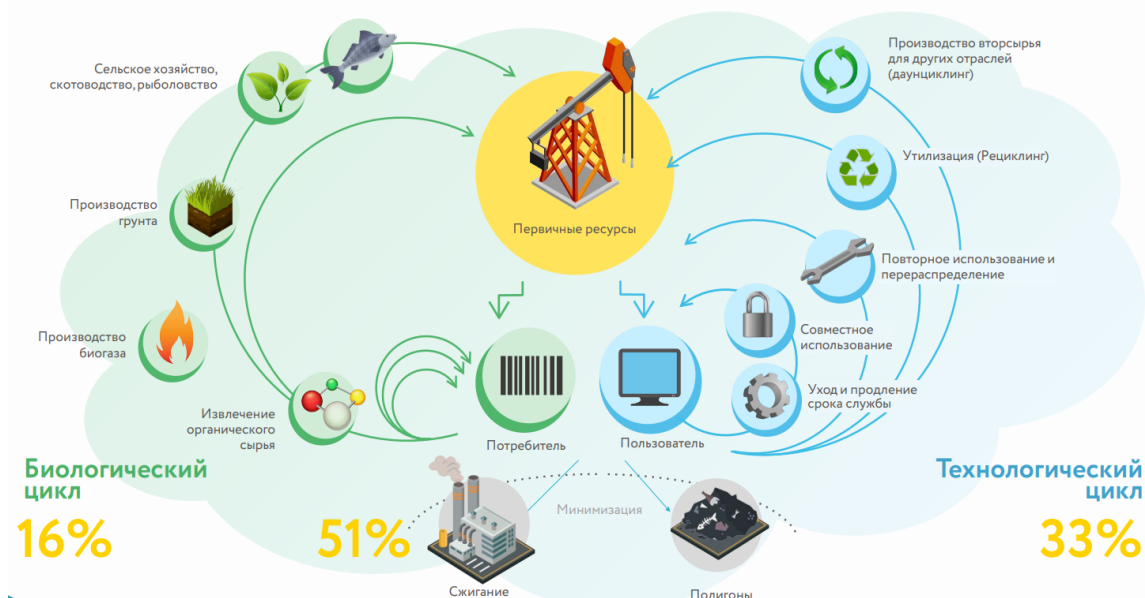


Рисунок 8. Как работает экономика замкнутого цикла в Швеции



Рисунок 9. Как работает экономика замкнутого цикла в России

ние), в Швеции – 16 %, 33 % и сжигание – 51 %. В России: 1 %, 5 % и 94 % на полигонах.

В целом, Россия сильно отстает от развитых и развивающихся стран по утилизации отходов, занимая место рядом с Мексикой, где 93 % отходов хранится на полигонах, а лишь 5 % утилизируется.

Структура и система управления федеральным проектом ЭЗЦ-2022 представлены на рис. 10.

- 3) Стимулирование и обеспечение спроса на ВМР (вторичные материальные ресурсы) (головное ведомство ППК «РЭО»)

- 4) Ограничение оборота «неэкологичной» упаковки (головное ведомство – Минприроды России)

- 5) Создание системы прослеживания движения отходов (головное ведомство ППК «РЭО»)



Рисунок 10. Структура и система управления федеральным проектом ЭЗЦ-2022

Экологическое просвещение (головное ведомство ППК «РЭО»).

Участники-исполнители проекта:

- Минприроды России
- Минэкономразвития России
- Минпромторг России
- Минстрой России
- Минсельхоз России
- Росприроднадзор
- Росстандарт
- Минобрнауки России
- ППК «РЭО» (Публично-правовая компания –

Российский экологический оператор) – создана по указу Президента РФ 14.01.2019 г.

Основная цель - Максимальное возвращение в хозяйственный оборот полезных компонентов, которые можно извлечь из отходов производства и потребления, превратив их во вторсырье.

Следует обратить внимание на шестое направление ФП «ЭЗЦ» - экологическое просвещение, в котором должна участвовать и высшая школа, в частности, строительные университеты и институты. Принцип «кадры решают всё!» остается неизменным.

Но вернемся к строительству - фондообразующей отрасли народного хозяйства, обеспечивающей экономическое развитие страны, и к ее материальной основе - индустрии строительных материалов, изделий и конструкций, которая несколько лет назад (в 2016 г.) была передана в ведение Минпромторга России. Основная экологическая ущербность мирового строительства отражена следующими показателями: 1) 30% выбросов углекислого газа (в т.ч. 5-7% при производстве цемента); 2) 38% мирового потребления энергии; 3) 40% потребления невозоб-

новляемых природных ресурсов; 4) 40% производственных отходов.

Доля отраслей народного хозяйства в строительстве:

- стройиндустрия – 52%;
- черная и цветная металлургия – 18%;
- деревообработка – 11%;
- машиностроение – 10%;
- химическая промышленность – 9%.

Стройиндустрия – это 65-70% себестоимости объектов строительства – это тысячи видов материалов из неорганического и органического сырья и синтетических полимеров: миллионы тонн и куб. метров изделий и конструкций.

Текущая ситуация с отходами строительства в России показана на рис. 11, взятого из презентации Федерального проекта «ЭЗЦ – 2022». Показаны основные виды отходов 4-5 класса опасности, их масса в 2020 г. – 71,3 млн. т и причины неэффективного обращения с ними, обуславливающие задачи реализации проекта ЭЗЦ в этой отрасли экономики страны.

На следующем рис. 12 представлены планируемые «подходы» к формированию ЭЗЦ в строительстве на этапе жизненного цикла объекта от проектирования до сноса. На всех его этапах кроме эксплуатации фигурируют отходы, как вторичные материальные ресурсы и вторичное сырье. Хотелось бы выразить свой скепсис относительно эйфории вокруг 3D-печати, и одновременно надежду на возвращение широким фронтом всепогодного сборного строительства как жилых, так и промышленных зданий. Альтернативы сборному строительству из изделий и конструкций заводского изготовления в России с её самым суровым климатом не существует (высокое качество, низкая себестоимость и низкие сроки строительства).



Рисунок 11. Ситуация с отходами строительства в России на 2020 г.

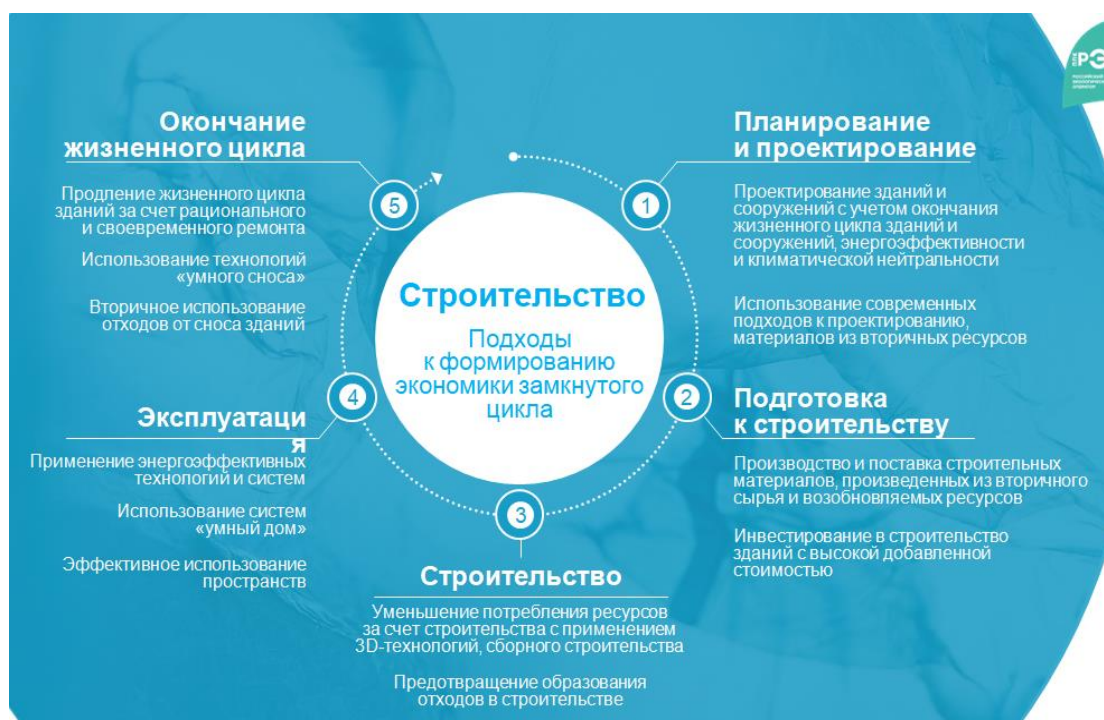


Рисунок 12. Планируемые в проекте ЭЗЦ-2022 подходы к сокращению и утилизации отходов в строительстве

Планируемые эффекты от реализации этих подходов:

- обеспечение утилизации до 90% строительных отходов всех типов;
- существенное до 20% снижение доли отходов, направляемых на полигоны;
- частичное замещение инвестиций в традиционные способы производства на новые технологии по применению вторичного сырья;

- обеспечение рынка вторичных материальных ресурсов для строительства и рекультивации;
- развитие инфраструктуры утилизации отходов.

В рамках Федерального проекта ЭЗЦ Минстрой и ЖКХ России разработало отраслевую Программу «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022-2030 годы», паспорт кото-



рой был утвержден вице-премьером В. Абрамченко 10 октября 2-22 г. Речь идет только о вовлечении отходов, образующихся при строительстве, реконструкции, разрушении, сносе, разборке, ремонте зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и благоустройстве в экономический оборот на период до 2030 года. Она распространяется на следующие отрасли:

- 1) Жилищное, промышленное, гражданское строительство;
- 2) Дорожное строительство
- 3) Жилищно-коммунальное хозяйство.

Почти одновременно в конце 2022 г. Минпромторгом РФ была разработана отраслевая программа «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов промышленного производства».

Срок реализации программы тот же – 2022-2030 гг.

Отрасли промышленности, на которые распространяется Программа:

- 1) Metallургическая,
- 2) Химическая,
- 3) Лесопромышленный комплекс,
- 4) Промышленность строительных материалов,
- 5) Легкая промышленность,
- 6) Электронная промышленность и микроэлектроника.

Следует подчеркнуть особую роль промышленности строительных материалов как наиболее материалоемкой среди всех других отраслей по объему и разнообразию потребления продукции как собственной, так и целого ряда других отраслей (см. выше стр. 155-156). В этой отраслевой программе Минпромторга России отмечается следующее:

1. Промышленность строительных материалов является приоритетной отраслью, определяю-

щий текущее состояние экономики Российской Федерации и потенциал ее развития, включая обновление основных фондов, строительство и ремонт объектов промышленности, транспортной и инженерной инфраструктуры, строительство в необходимом объеме комфортного и качественного жилья, занятость населения в средних и малых населенных пунктах, а также размер государственных расходов, связанных с реализацией программ развития.

2. Промышленность строительных материалов является одним из основных секторов промышленности, в который может быть вовлечено наибольшее количество и объем отходов других отраслей, в частности, металлургической, машиностроительной, предприятий ТЭК и многих других.

Однако далеко не все, а точнее большинство из великого разнообразия видов отходов, различающихся по химическому составу, морфологии, объему, степени загрязненности могут быть «сходу», т.е. без предварительной технологической подготовки (измельчению, сушке, очистке и т. д.), вводиться в технологический процесс производства строительных материалов и изделий (как например, древесные опилки или шелуха гречихи в качестве выгорающих добавок при производстве керамического кирпича). Требуются новые технологии подготовки (и переработки) отходов во вторичное сырье, которое может использоваться в производстве той же (рециклинг) или другой продукции.

Для этого нужна многопрофильная научно-производственная структура, которая и будет заниматься подготовкой и переработкой промышленных отходов в качестве вторичного сырья (например, щебня из бетонного лома) или нового функционального продукта (например, химдобавок для бетонов из отходов химической промышленности), но не

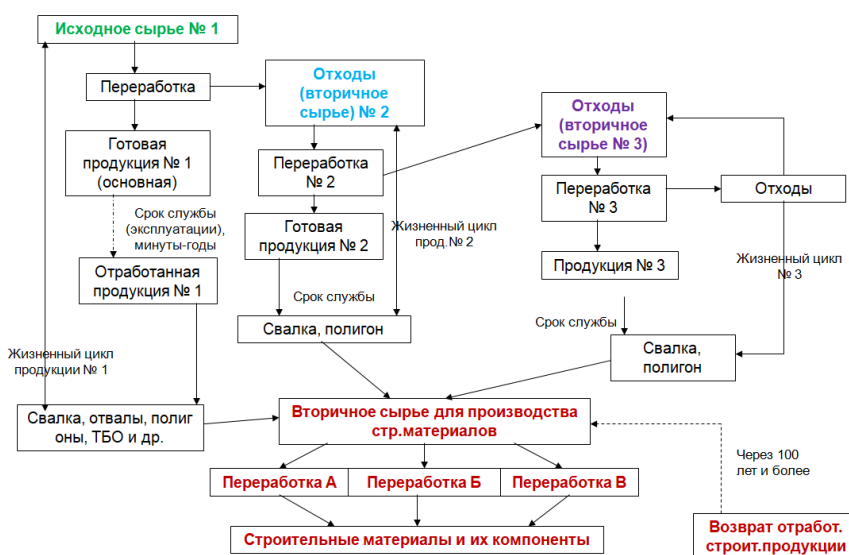


Рисунок 13. Схема «жизненного цикла» промышленной продукции, замыкаемого переработкой в строительстве материалы



сбором и транспортировкой промышленных отходов и ТКО).

Такая структура, назовем ее «Вторстройресурс», должна (вернее, может) быть создана в каждом регионе России, масштабы и диапазон деятельности которой будут зависеть от промышленных отраслей региона и уровня его экономического развития. Научно-производственная фирма «Вторстройресурс» должна состоять из одноименного научного проектно-технологического центра и комплекса предприятий малого или среднего бизнеса по переработке промышленных отходов региона в строительные материалы и их функциональные компоненты, модифицирующие добавки, вспомогательные продукты.

Научный проектно-технологический центр «Вторстройресурс» должен выполнять следующие задачи:

1) Проводить мониторинг отходов всех промышленных предприятий региона, составлять и пополнять каталог отходов с полной характеристикой морфологического и химического состава, агрегатного состояния (твердое, жидкое, пастообразное), категории опасности, накопленного объема в отвалах и хранилищах, текущего выхода при производстве основной продукции предприятия.

2) Проводить мониторинг существующих отечественных и зарубежных технологий переработки аналогичных отходов в строительные материалы и их компоненты; осуществлять их технико-экономическую и экологическую оценку применительно к условиям региона.

3) Разрабатывать новые технологии и проекты производств по переработке промышленных отходов во вторичное сырье и обеспечивать научное сопровождение, как на существующих предприятиях стройиндустрии, так и на специализированных малых предприятиях фирмы «Вторстройресурс».

Работа фирмы «Вторстройресурс» должна осуществляться в тесном взаимодействии и координации с министерствами экологии и природных ресурсов регионов, министерствами строительства и ЖКХ, а также с крупными промышленными предприятиями, производящими большие объемы отходов, не находящих эффективных способов утилизации.

Такой центр «Вторстройресурс» может быть ядром создаваемых с недавнего времени в России экотехнопарков в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018г. №84-р «Об Утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года».

Итак, строительство, а именно стройиндустрия, как самая материалоемкая по объему и разнообразию материалов и исходного сырья объективно

является самым мощным потребителем отходов. Эта уникальная отрасль способна «поглотить» на многие десятилетия огромные объемы техногенных отходов, превратив их в строительные материалы, изделия и конструкции зданий и сооружений.

В реализации Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» этой промышленной отрасли принадлежит ведущая роль. Только она может стать общим замыкающим звеном утилизации отходов большинства других промышленных производств и даже агропромышленного хозяйства регионов, превратив их в безотходные территориально-промышленные комплексы России.

Библиографический список

1. Скляр А.Ю. Сенсационная история Земли. – М.: Вече, 2011.
2. Шаповалов, А. Б. К вопросу о роли диоксида углерода и его влиянии на биосферу / А. Б. Шаповалов // Общественные ресурсы и технологии. – 2017. – № 3(20). – С. 78-85. – DOI 10.21777/2500-2112-2017-3-78-85. – EDN ZSUNQR.
3. Пахомова, Н. В. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития / Н. В. Пахомова, К. К. Рихтер, М. А. Ветрова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2017. – Т. 33, № 2. – С. 244-268. – DOI 10.21638/11701/spbu05.2017.203. – EDN ZCMMCV.
4. Экологические проблемы городов и экологическая безопасность строительства / Д. В. Алексеева, Т. А. Фомиченко, Е. П. Горбанева, А. А. Абраменко // Строительство и недвижимость. – 2020. – № 1(5). – С. 7-12. – EDN MKCGYV.
5. United National, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015) World Population Prospects Working Paper No.ESA/P/WP.241. URL: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf
6. Валько, Д. В. Циркулярная экономика: теоретическая модель и эффекты реализации / Д. В. Валько // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2018. – Т. 14, № 8(365). – С. 1415-1429. – DOI 10.24891/ni.14.8.1415. – EDN XUZXLF.
7. Ратнер, С. В. Циркулярная экономика: теоретические основы и практические приложения в области региональной экономики и управления / С. В. Ратнер // Инновации. – 2018. – № 9(239). – С. 29-37. – EDN JGEBZN.
8. Гурьева, М. А. Практика реализации модели циркулярной экономики / М. А. Гурьева, В. В. Бутко // Экономические отношения. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 2367-2384. – DOI 10.18334/eo.9.4.40991. – EDN AUNUIK.
9. Вернадский В.И. Биосфера: Избранные труды по биогеохимии. – М. Наука. 1967. – 240 с.
10. Комаров С.М. Цивилизация старьевщика // Химия и жизнь – XXI век. 2013. №12. С. 2-7.
11. Григорян, А. А. Страны Прибалтики на пути к экономике замкнутого цикла / А. А. Григорян, Н. Ю. Бородавкина // Балтийский регион. – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 7-22. – DOI 10.5922/2074-9848-2017-3-1. – EDN ZFHNVD.
12. Preston F.A. Global Redesign, Shaping the Circular Economy. L. 2012 P. 160.



13. Денисов В.В., Денисова И.А., Дрововозова Т.И., Москалено А.П. Основы природопользования и энергосбережения: учебное пособие / под ред. В.В. Денисова – СПб. Изд. «Лань», 2018. – 408 с.

14. Хозин, В. Г. Роль стройиндустрии в становлении циркулярной экономики промышленных регионов России / В. Г. Хозин, В. Ф. Хританков, А. П. Пичугин // Строительные материалы. – 2021. – № 1-2. – С. 6-12. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-6-12. – EDN FVBKYU.

15. Любомирский Н.В., Конструкционные и теплоизоляционные строительные материалы принудительного карбонатного твердения из вторичного сырья. Монография / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин, А.С. Бахтин, Т.А. Бахтина, Е.Ю. Николаенко, В.В. Николаенко. – Симферополь: КТ «АРИАЛ», 2021. – 408 с.

16. Шарковская, М. Нужно ли бороться с климатом? (интервью с географом Валерием Федоровым) // Аргументы недели 26.10.2022 №42 (837) с. 18.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_160

ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА*

© Авторы 2023

SPIN: 3528-7452

AuthorID: 5135

ORCID: 0000-0002-0662-6595

ResearcherID: A-7251-2014

Scopus ID: 54386498100

ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук,

профессор, заведующий кафедрой прикладной механики

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

(Россия, Саранск, e-mail: ias.dekanat@bk.ru)

SPIN: 6345-0914

AuthorID: 654174

ЕМЕЛЬЯНОВ Алексей Иванович

кандидат технических наук, доцент

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

(Россия, Саранск)

SPIN: 8080-4780

AuthorID: 214841

КИСЕЛЕВ Евгений Викторович

кандидат технических наук, доцент

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

(Россия, Саранск)

Аннотация. Получение эффективных и экологически безопасных пенообразующих добавок для производства пенобетонов возможно путем щелочного гидролиза белоксодержащего сырья. С целью удешевления стоимости белкового пенообразователя, в настоящей работе приведены результаты изучения процесса гидролиза послеспиртовой барды в присутствии гидроксида кальция (известняк). Разработка условий получения пенообразователя проводилась с использованием сухой зерновой послеспиртовой барды (ГОСТ Р53098-2008). На основании проведенных исследований сделано заключение о возможности получения рассмотренным методом недорогого и экологически безопасного пенообразователя для применения в строительстве.

Ключевые слова: пенообразователь; вторичный продукт; гидролиз; послеспиртовая барда; строительные материалы, безопасность строительства

Для цитирования: Черкасов В.Д., Емельянов А.И., Киселев Е.В. Получение эффективных пенообразователей из вторичных продуктов производства этилового спирта // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 160-162. doi:10.51608/26867818_2023_1_160.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

OBTAINING EFFICIENT FOAM FROM SECONDARY PRODUCTS OF ETHYL ALCOHOL PRODUCTION

© The Author(s) 2023

CHERKASOV Vasily Dmitrievich

Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof.
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: ias.dekanat@bk.ru)

EMELYANOV Alexey Ivanovich

candidate of technical sciences, associate professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

KISELEV Evgeny Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

Annotation. Effective and environmentally friendly foaming additives for foam concrete production can be obtained by alkaline hydrolysis of the protein-containing raw material. In order to reduce the cost of protein foaming agent, this paper presents the results of the study of the hydrolysis process of the dried grains with soluble in the presence of calcium hydroxide (lime). The development of the foaming agent conditions was carried out with the use of dry grain after-alcohol bard (state standard P53098-2008). It was concluded that it was possible to obtain a cost-effective and environmentally friendly foaming agent for use in construction.

Keywords: foaming agent, secondary product, hydrolysis, dried grains with soluble, building materials, construction safety

For citation: Cherkasov V.D., Emelyanov A.I., Kiselev E.V. Obtaining efficient foam from secondary products of ethyl alcohol production // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 160-162. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_160.

В ходе проведенных ранее исследований был получен пенообразователь в результате гидролиза вторичных продуктов производства этилового спирта в присутствии гидроксида натрия [1]. Использование гидроксида кальция в качестве щелочного компонента обусловлено еще и тем, что работа с ним менее опасна, чем с гидроксидом натрия, с точки зрения техники безопасности. Кроме этого в силу малой растворимости извести в воде (0,17 г на 100 г воды при 20°C) ее концентрация в растворе в ходе гидролиза будет поддерживаться постоянной. Небольшое количество извести, которое будет содержаться в полученном растворе гидролизата, при необходимости, можно легко удалить путем ее нейтрализации малым количеством минеральной кислоты.

Разработка условий получения пенообразователя проводилась с использованием сухой зерновой послеспиртовой барды (ГОСТ P53098-2008), поскольку в ней содержится большее количество сырого протеина (около 27 мас. %) по сравнению с жидкой (около 2 мас. %) [2] и состав сухой барды более стабилен. В ходе работы варьировались такие параметры, как температура, продолжительность процесса гидролиза, содержание сухих веществ в водной суспензии и количество гидролизующего компонента. В ре-

зультате исследований были установлены следующие наиболее оптимальные соотношения компонентов и условия получения пенообразователя: вода : сухая барда : гидроксид кальция (по массе) - 100,0 : 15,0 : 2,5; продолжительность гидролиза 150 - 180 мин при температуре среды 93 - 95°C. Содержание сухих веществ в полученном после фильтрования реакционной смеси растворе составило 8,4 %, pH равно 12 ед. Как известно, значительную роль в стабилизации пены белковых растворов играет pH среды. Так объем и стабильность пены достигают максимального значения в области pH, соответствующей изоэлектрическому состоянию белка. Экспериментально установлено, что наиболее хорошие пенообразующие свойства раствора гидролизата получаются при pH среды равным 6,5 - 7,0 ед. В связи с этим кислотность гидролизата перед использованием понижали до pH равным 7 ед. путем прибавления минеральной кислоты. Минимальное значение концентрации раствора пенообразователя, при которой достигаются максимальная устойчивость пены (более 20 часов), минимальное водоотделение из пены (0 %) и хорошая кратность пены (15 ед.), оказалось равным 2,5 мас. % (см. рисунок). В качестве стабилизатора пены был использован раствор сульфата железа (II).

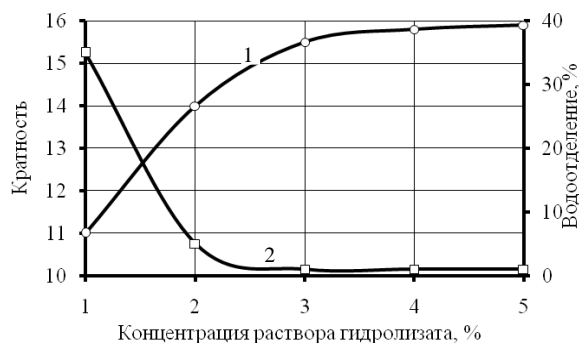


Рис. Зависимость кратности (1) и водоотделения из пены (2) от концентрации раствора пенообразователя

Сравнение свойств пенообразователя полученного путем гидролиза послеспиртовой барды в присутствии гидроксида натрия [1] и гидроксида кальция показывает, что в последнем случае гидролизат обладает более хорошими пенообразующими способностями. Кратность растворов гидролизатов определяли как отношение объема пены к объему водного раствора пенообразователя. Водоотделение определяли как количество вытекшего раствора из пены за один час (в процентах к исходному количеству взятого для испытания объема пенообразователя); устойчивость – время выделения из пены половины объема исходного раствора пенообразователя (ГОСТ 6948-81). Однократное замораживание-размораживание раствора пенообразователя не оказывает влияния на качество получаемой из него пены. Продолжительность хранения раствора пенообразователя в плотно закрытой таре составляет не менее трех месяцев (см. таблицу). В присутствии антисептика (0,15 мас. % сульфата меди) продолжительность хранения возрастает вдвое.

Для использования гидролизата в качестве пенообразователя для получения пенобетона, кроме кратности и устойчивости пены нужно выяснить ее совместимость с цементной системой, которая оценивается коэффициентом стойкости пены в цементном тесте. В лабораторных условиях определение

коэффициента стойкости проводили при смешении в течение 1 мин в равных объемах (1 л) цементного теста ($V/C = 0,4$) и пены, затем измеряли полученный объем поризованного теста. Объем полученной пеномассы деленный на 2 и дает коэффициент стойкости. Испытания показали малую усадку цементной массы в присутствии щелочного гидролизата, а коэффициент стойкости пены в цементном тесте оказался равным 0,92.

Влияние продолжительности хранения (при 20 °С) белкового пенообразователя на свойства пены

Свойства пены	Продолжительность хранения, сут												
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Кратность, ед. (3% раствор)	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	14	14
Водоотделение, % (3% раствор)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	4

Предварительные опыты по влиянию полученного пенообразователя и известного пенообразователя «Пеностром» на прочность пенобетона при сжатии плотностью 800 кг/м³ показали идентичные результаты.

Таким образом, на основании вышеизложенных данных можно заключить, что путем гидролиза после спиртовой барды в присутствии гидроксида кальция, можно получить недорогой и экологически безопасный пенообразователь, который по своим пенообразующим свойствам можно рекомендовать для применения в строительстве.

Библиографический список

1. Белковый пенообразователь для пенобетонов / В. И. Бузулуков, В. Д. Черкасов, А. И. Емельянов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 7(655). – С. 23-27. – EDN ROCVMX.
2. Изучение биологически активных веществ, содержащихся в отходах спиртового производства / А. Ш. Кайшев, А. Ю. Айрапетова, Л. С. Ушакова [и др.] // Фармация. – 2011. – № 7. – С. 7-10. – EDN OOMRON.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.



Научная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_1_163

ОПЫТ МОДИФИКАЦИИ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО КОЖЕВЕННЫМИ ОТХОДАМИ*

© Авторы 2023

SPIN: 9908-4472

AuthorID: 48837

ЯРЦЕВ Виктор Петрович

доктор технических наук, профессор

*Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: kzis@mail.tstu.ru)*

SPIN: 8423-2539

AuthorID: 648799

ORCID: 0000-0002-3111-7565

Scopus: 57196442062

МАМОНТОВ Семён Александрович

кандидат технических наук, доцент

*Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов)*

СУЧКОВ Кирилл Олегович

аспирант

*Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов)*

СУЧКОВА Ирина Геннадьевна

главный специалист

*ТОГБУ "Капиталстрой"
(Россия, Тамбов)*

Аннотация. В настоящее время в процессе производства кожевенной продукции вырабатывается огромное количество отходов, достигающих до пятидесяти процентов по массе сырья. Такое производство отрицательно воздействует на окружающую среду: трансформирует рельеф, качество и структуру почвы, загрязняет воздух, и т.д. Промышленность строительных материалов всегда была одним из главных потребителей крупнотоннажных отходов кожевенного производства. При этом перед строительной отраслью стоит задача в повышении эксплуатационных характеристик битума, т.к. он не обладает высокой долговечностью. В данной работе проведен анализ проведенных перспективных научных исследований по наполнению битумного вяжущего твердыми дублеными отходами кожевенной промышленности.

Ключевые слова: битумное вяжущее; кожевенные отходы; строительные материалы; строительное материаловедение; утилизация; строительный битум

Для цитирования: Опыт модификации битумного вяжущего кожевенными отходами / В.П. Ярцев, С.А. Мамонтов, К.О. Сучков, И.Г. Сучкова // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 163-166. doi:10.51608/26867818_2023_1_163.

* Материалы данной статьи использовались в докладе на Научно-технической конференции «Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия, при изготовлении строительных материалов и изделий» (18-19 ноября 2022 г., Саранск, МГУ им. Огарева).



Original article

EXPERIENCE OF MODIFYING BITUMEN BINDING WITH LEATHER WASTE

© The Author(s) 2023

YARTSEV Viktor Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: kzis@mail.tstu.ru)

MAMONTOV Semyon Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

SUCHKOV Kirill Olegovich

PhD Candidate
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

SUCHKOVA Irina Gennadievna

Chief Specialist
TOGBU "Kapitalstroy"
(Russia, Tambov)

Annotation. Currently, in the leather production process manufactures a huge amount of waste, reaching up to fifty percent by weight of raw materials. Such production has a negative impact on the environment: it transforms the topography, soil quality and structure, pollutes air, etc. The construction materials industry has always been one of the main consumers of large-volume leather waste. At the same time, the construction industry has a problem in increasing the performance of bitumen because it does not have high durability. The authors conducted the analysis of prospective research studies on filling bitumen binder solid tanned wastes of the leather industry.

Keywords: bitumen binder; leather waste; building materials; building materials science; recycling; construction bitumen

For citation: Experience of modifying bitumen binding with leather waste / V.P. Yartsev, S.A. Mamontov, K.O. Suchkov, I.G. Suchkova // Expert: theory and practice. 2023. № 1 (20). Pp. 163-166. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_1_163.

При существующем характере увеличения объемов образования кожевенных отходов вопрос их утилизации, с позиции экологической ситуации, становится очень актуальным. Более того, данные отходы несут огромную ценность, т.к. в своем составе они содержат до пятидесяти процентов белковых и многих других полезных для вторичного использования продуктов [1-3].

Существуют следующие виды отходов: жировые, дубленые, недубленые [4].

Дубленые отходы – это кожевенная стружка, спилковая обрезь, а также пыль, которая возникает при строгании, распиливании, шлифовании полуфабрикатов, которые имеют структурные образования вследствие взаимодействия коллагена с солями хрома и многих других дубящих соединений [5].

Технологии переработки дубленых отходов отличаются глубиной интеграции в структуру (рис. 1).

Высокоперспективной отраслью для утилизации дубленых кожевенных отходов является про-

мышленность строительных материалов, которая всегда выступала одним из главных потребителей крупнотоннажных отходов производств различного назначения [7].

Битумные материалы – имеют большое распространение для кровельных, дорожных гидроизоляционных работ. Одна из главных задач строительной отрасли состоит в повышении эксплуатационных характеристик битума, потому что он не обладает высокой долговечностью. Для повышения долговечности, а также для улучшения теплофизических, механических и других свойств используются такие методы, как совершенствование технологии производства битумов, модификация битумов, пластификация битумов, и их комбинации.

В производстве практикуют смешение битумов, окисление расплавленного битума воздухом, окисление в присутствии хлорида железа или окиси фосфора, введение в битум модифицирующих добавок: наполнителей, пластификаторов, структурооб-



Технологии переработки дубленых отходов

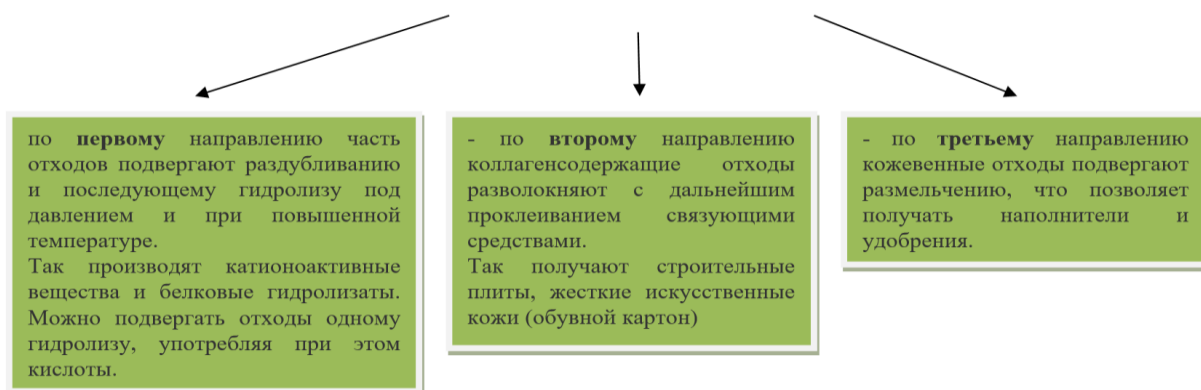


Рис. 1. Технологии переработки

разователей, синтетических полимеров и их смесей и др.

Иными словами, создаются композиционные битумные материалы, которые обеспечивают требуемую долговечность для кровли, дорог и гидроизоляции.

Используя третий тип переработки (рис.1), на базе кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета под руководством профессора д.т.н. Ярцева В. П. проводилось научное исследование по наполнению битумного вяжущего твердыми дублеными отходами кожевенной промышленности [7].

Для исследования использовались кожевенные отходы, просеянные через стандартный набор сит с разбиением по фракциям 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 (рис. 2,3) [7].

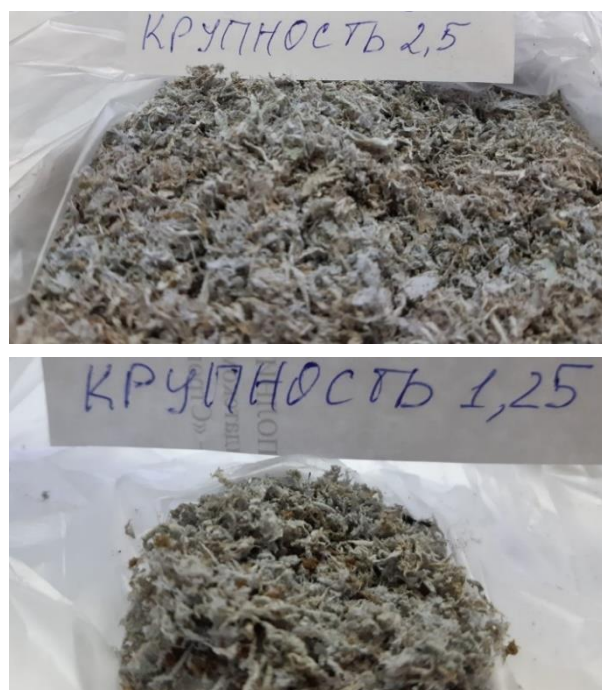


Рис. 2. Просеянные кожевенные отходы с крупностью частиц 1,25...2,5 мм



Рис. 3. Просеянные кожевенные отходы с крупностью частиц 0,16...0,63 мм

Содержание отходов в битумном композите принималось в пропорциях 5, 10, 15% от массы битума. Также разрабатывались композиции с полифракционным наполнителем.



Образцы получали введением отходов разной фракции в расплавленный битум с последующим перемешиванием и остыванием массы.

Для приготовленных битумных композиций оценивались следующие показатели:

1. Температура размягчения;
2. Дуктильность (способность битума вытягиваться в тонкие нити под действием внешних постоянных сил);
3. Пенетрация (глубина проникновения иглы);
4. Плотность битума;
5. Прочность при сжатии;
6. Прочность при поперечном изгибе;
7. Водопоглощение.

По результатам проведенных испытаний было установлено, что при введении кожевенных отходов в битумное вяжущее температура его размягчения практически не изменилась [7].

С увеличением содержания кожевенного наполнителя растяжимость образцов композита снизилась, также как и пенетрация. При этом глубина проникания иглы в битумный композит уменьшилась практически на пятьдесят процентов [7].

Средняя плотность наполненного битумного композита с повышением процента содержания кожевенных отходов увеличилась, что, по-видимому, связано с уплотнением частиц кожевенного наполнителя в результате воздействия на него высокой температуры при варке битума (см. таблицу). В процессе приготовления битумного композита обнаружена значительная температурно-влажностная усадка частиц кожи.

Плотность образцов битумного композита [7]

№ образца	Фракция, мм	Размеры образца, см	Плотность образца, г/см ³
2	без кож. наполнителя	2,0x2,2x11,9	1,06
3		2,0x2,1x11,9	1,05
8	0,16 мм	2,0x1,9x12,0	1,02
9	(10 %)	1,9x1,9x11,9	0,96
29	0,63 мм	2,0x1,8x11,9	1,08
30	(15 %)	2,0x1,9x12,0	1,05
44	2,5 мм	2,0x2,1x12,0	1,1
45	(10 %)	2,0x2,1x12,1	1,1
56	полифракц. состав	2,0x2,0x11,9	1
57	(15 %)	2,0x2,0x12,0	1,08

Наличие кожевенных отходов в битумном вяжущем повысило жесткость материала при деформировании его сжатием, что в целом положительно влияет на эксплуатационные свойства битумного композита.

Введение волокнистых отходов в битум, как и ожидалось, увеличило прочность при изгибе на 40 % по сравнению с битумом без добавок.

Оценка способности битумного композита поглощать и удерживать капельно-жидкую влагу выявила стойкость материала к агрессивному воздействию влаги ввиду отсутствия высокой пористости, несмотря на то, что кожевенные отходы обладают повышенным водопоглощением.

На основании всего вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что введение кожевенных отходов не снижает технические показатели строительного битума и повышает его механические характеристики.

Проведенные опытные исследования и полученные результаты конечно же не являются окончательными и требуют обоснованного научного уточнения и пояснения.

Исследование является перспективным и в будущем будет направлено на изучение механизмов взаимодействия наполнителя и вяжущего на различных уровнях организации структуры.

Посредством специальных лабораторных методов анализа будет рассмотрена физическая и химическая структура композитов, оценена их химическая, биологическая и климатологическая стойкость.

Библиографический список

1. Ярцев В.П. Применение кожевенных отходов в производстве строительных материалов / В. П. Ярцев, С. А. Мамонтов, А. А. Мамонтов, Д. А. Савенков // Актуальные вопросы архитектуры и строительства, Саранск, 23–24 декабря 2020 года. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – С. 228-232. – EDN OFHIZW.
2. Богданова, И. Е. Современные направления переработки коллагенсодержащих отходов кожевенного производства / И. Е. Богданова // Кожевенно-обувная промышленность. – 2007. – № 2. – С. 30-31. – EDN KLRXUX.
3. Борисенко Л.Н. Утилизация кожевенных отходов и эффективность их использования в народном хозяйстве // Кожевенная промышленность - 1991, № 2.
4. Шименович Б. Утилизация кожевенных отходов / Style - 2003, № 3.
5. Чурсин В.И. Химико-технологические методы утилизации кожевенной стружки: экономика и экология // Кожевенно-обувная промышленность. 1998. № 1.
6. Артемов А.В. Производство изделий из кожи – проблемы экологии // Экология и промышленность России. 2004. № 2.
7. Ярцев, В. П. Влияние отходов кожевенного производства на эксплуатационные свойства строительного битума / В. П. Ярцев, С. А. Мамонтов, Д. А. Савенков // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 мая 2020 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 139-143. – EDN RWNZCD.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 16.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

Научная статья

УДК 001.893+519.248

ГРНТИ: 12.41: Организация науки. Политика в области науки

doi:10.51608/26867818_2023_1_167

ПОКАЗАТЕЛИ ЦИТИРУЕМОСТИ УЧЕНЫХ С УЧЕТОМ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЦИТИРУЮЩИХ АВТОРОВ

© Автор 2023

SPIN: 1889-2971

AuthorID: 505948

ResearcherID: W-6149-2019

ScopusID: 23991011800

ORCID: 0000-0002-6091-2760

МАРВИН Сергей Владимирович

кандидат физико-математических наук, доцент департамента

информационных технологий и автоматизации

Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина

(Россия, Екатеринбург, e-mail: s.v.marvin@yandex.ru)

Аннотация. Утверждение, являющееся основополагающим для статьи, заключается в том, что показатели цитируемости каждого конкретного ученого должны определяться не только ссылками, поступившими на его публикации, но и широтой авторского круга, от которого эти ссылки получены. Статья дополняет серию других работ, основанных на том же базовом утверждении, выполненных в рамках той же проблематики (которая, таким образом, признается актуальной для наукометрии). В статье предложен конкретный алгоритм для корректирования показателей цитируемости, основанный на учете повторяемости цитирующих авторов. Алгоритм заключается в частичном вычитании из наукометрических показателей ученого тех ссылок, которые исходят от наиболее часто повторяющихся авторов. Определение кластера (ядра) авторов, которые особенно часто ссылаются на работы ученого, происходит в рамках той же математической модели, на которой основано построение ядра Хирша. Разбираются различные нюансы метода, связанные с многократными ссылками, исходящими из одной и той же цитирующей публикации, либо со ссылками, выполненными в соавторстве. Разобран конкретный пример применения метода. Проведено сравнение предложенного метода с другими алгоритмами, разработанными, использованными и обсужденными ранее.

Ключевые слова: наукометрия; библиометрические базы; цитируемость; ядро Хирша; индекс Хирша; ко-цитирование; индекс Херфиндаля; соавторство

Для цитирования: Марвин С.В. Показатели цитируемости ученых с учетом повторяемости цитирующих авторов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 167-171. doi:10.51608/26867818_2022_4_167.

Original article

INDICATORS OF CITATION OF SCIENTISTS TAKING INTO ACCOUNT A SAMENESS OF CITING AUTHORS

© The Author(s) 2023

MARVIN Sergey Vladimirovich

candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

of the department of information technologies and automation

Ural federal university named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

(Russia, Yekaterinburg, e-mail: s.v.marvin@yandex.ru)

Annotation. The statement, which is fundamental for this article, is that, the indicators of citation of each individual scientist should be determined not only by the references, received to his publications, but also by the breadth of author's circle, from which these references are obtained. The article extends a series of other works, based on the same basic statement, completed within the same problem (which, thus, is recognized as topical for the scientometrics). In the article, a specific method of correction of calculation of the number of citations of a scientist, based on considering a sameness of citing authors, is proposed. The algorithm based on partial subtracting from scientometrics indicators of the scientist those citations, that come from most frequent authors. The definition of a cluster (core) of authors, who especially often are cited the scientist, based on a same mathematical model, on which based a building of the Hirsch core. Various nuances of the proposed method, associated with multiple citations, coming from a same citing publication, or coming from a publication, made in co-authorship, are analyzed. A specific example of application of the method is analyzed. A comparison of the proposed method with other algorithms, which were developed, used and discussed earlier, is carried out.

Keywords: scientometrics; bibliometric bases; citation; Hirsch core; Hirsch index; co-citation; Herfindahl index; co-authorship

Введение

Ранее в работах по наукометрии неоднократно отмечалось, что цитирования любого конкретного ученого, исходящие от наиболее часто повторяющихся авторов, требуют повышенного внимания и отдельного подхода. Предлагались некоторые модификации индекса Хирша [1-2]; разрабатывались методы выявления кластеров ко-цитирования по персональному, административному и территориальному признаку [3-4]; использовался индекс Херфиндаля [3; 5].

Бесспорно, научное знание не должно концентрироваться в каком-либо неоправданно узком научном кластере, должно быть интересным как можно более широкому кругу исследователей (разумеется, в рамках данной конкретной предметной области). Кроме того, выявление кластеров ко-цитирования является эффективным методом противодействия имитационному цитированию.

Добросовестное цитирование отражает ценность научных трудов [6-8] и ожидаемо коррелирует с их качеством [9]. Имитационное цитирование искажает представление о ценности опубликованных работ и уменьшает (иногда очень заметно) корреляцию между наукометрическими показателями и качеством публикаций [10-11]. Вычитание ссылок, исходящих от чрезмерно повторяющихся авторов, должно уменьшить искажения, вносимые имитационным цитированием – в данной работе предлагается один из возможных подходов.

Методология

Предлагаемый метод основан на той же модели, на которой был построен индекс Хирша: некоторая выборка ранжируется (перегруппировывается) по определенному количественному признаку в порядке его невозрастания. Если на h -м месте в выборке количественный признак больше или равен h , а на $(h+1)$ -м месте – меньше или равен h , то вычисляемый индекс принимает значение h . Этот индекс определяет разбиение выборки на две части, принципиально важные для метода: первые h позиций в выборке образуют «ядро», а остальные позиции – «хвост».

Модель разбиения на ядро и хвост может быть использована не только для распределения количества цитирований по публикациям ученого (как это происходит при вычислении обычного индекса Хирша). Она может быть применена, например, к распределению научных трудов ученого, выполненных им не единолично, по его соавторам [12-13]: так возникает понятие ядра соавторства. В данной работе предлагается применить аналогичный подход к

распределению цитирований ученого по авторам, когда-либо его процитировавшим. Идея проиллюстрирована на рисунке.

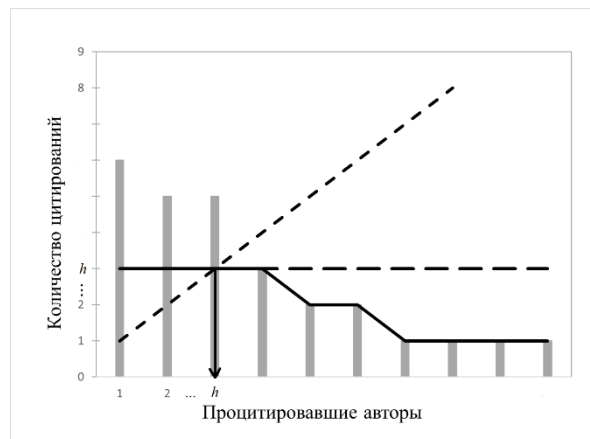


Рис. Распределение количества цитирований по цитирующим авторам

Авторам, процитировавшим ученого, ранжируются (в порядке невозрастания) по количеству цитирований, поступивших от них рассматриваемому ученому. Каждому автору соответствует столбец на рисунке, высота которого равна указанному количеству цитирований; номер столбца – номер автора в ранжированном списке. Заметим, что подобные диаграммы составляются автоматически в профилях ученых базы elibrary.ru; однако, без каких-либо существенных их применений.

Наклонная прямая, изображенная мелким пунктиром, задается уравнением $y=x$, где x – горизонтальная координата, y – вертикальная. Последний (слева направо) столбец диаграммы, пересекающийся с этой прямой, определяет границу между ядром и хвостом; координата h характеризует его расположение по горизонтали (указана стрелкой). Этот столбец и все столбцы левее относятся к ядру; столбцы правее образуют хвост.

Авторы, попавшие в ядро, наиболее часто ссылаются на работы ученого. Предлагаемый метод заключается в том, что ссылки, поступившие от этих авторов, должны иметь некоторый порог отсека: ученому должны засчитываться только h цитирований от каждого из них. Высота «потолка» для ссылок из ядра задается на диаграмме прямой, изображенной длинным пунктиром. Ссылки, поступившие от авторов, находящихся в хвосте диаграммы, засчитываются ученому без каких-либо ограничений. Верхний порог для всех ссылок, принимаемых в расчет, изображен на диаграмме сплошной ломаной.

Заметим: данная модель не предполагает, что ссылки, которые оказываются над «потолком» ядра



цитирования, заблокированы насовсем. Они, в любом случае, должны оставаться в памяти программного обеспечения библиометрической базы. И ядро цитирования может расширяться, когда, как минимум, $h+1$ автор сошлется на данного ученого, как минимум, $h+1$ раз – тогда еще некоторая часть ссылок из прежнего ядра цитирования окажется «оправданной» и разблокированной. В этом заключается основной замысел метода: научное знание должно распространяться.

Высота конкретного столбца на рисунке накоплена всеми ссылками, полученными от конкретного автора на весь массив публикаций ученого. Приведем несколько примеров. Допустим, автор № 2 цитирует какую-либо работу рассматриваемого ученого – высота 2-го столбца диаграммы вырастает на единицу. Если же, предположим, в своей (или отчасти своей) публикации автор № 2 процитировал две публикации ученого (два пункта в списке литературы), высота второго столбца увеличивается на два (что может привести к перестановке столбцов: ведь авторы ранжируются в порядке невозрастания цитирования). Если цитирование произошло из публикации, которую, например, авторы № 3 и № 4 написали совместно, то на единицу вырастают одновременно 3-й и 4-й столбцы. И возможна ситуация, когда 3-й столбец окажется выше порога отсечения, а 4-й – ниже его. Однако, речь идет об одной и той же ссылке на публикацию ученого (просто выполненную в соавторстве) – в таком случае, предлагается это цитирование засчитывать.

Для ссылок из ядра цитирования чрезвычайно актуален вопрос, какие из них следует считать под «потолком» ядра, а какие – над ним (то есть, заблокированными). От того, на какие именно публикации засчитаны цитирования, может зависеть, например, значение индекса Хирша. Кроме того, в идеале, описанный метод следует применять совместно с использованием средних показателей цитируемости, характеризующих конкретную либо собирательную тематику, а также вид публикации: чтобы вычислять нормированные показатели [14]. Тогда еще большую важность приобретает вопрос, какие именно ссылки из ядра цитирования следует засчитывать ученому.

Очевидно, что от каждого конкретного цитирующего автора в первую очередь должны идти в зачет те цитирования, которые поступили хронологически раньше. Однако, возможна ситуация, когда нельзя определить, какие из ссылок более ранние, а какие – более поздние: например, если цитирующий автор в рамках одной публикации сослался сразу на несколько работ ученого – такие ссылки, разумеется, следует считать одновременными. И одновременные ссылки от одного и того же автора могут находиться отчасти под пороговым количеством h , а от-

части – над ним. Тогда следует засчитывать те из них, которые соответствуют наилучшим нормированным показателям цитируемости автора. Конечно, все это требует использования некоторых алгоритмов перебора, соответствующего программного обеспечения и немалых вычислительных мощностей. Однако, и ранее отмечалось, что любой достаточно обстоятельный наукометрический подход сопряжен с очень высокими требованиями к количеству и качеству вычислительной техники [14].

Эксперимент: конкретное применение метода

Для того, чтобы продемонстрировать применение предложенного метода, разберем показатели цитируемости одного реального молодого ученого, имя которого не разглашается. Для разбора примера ученый осознанно выбран начинающим, чтобы был возможен «ручной подсчет» его показателей. Распределение ссылок от различных авторов представлено в таблице 1.

Таблица 1. Распределение цитирований по авторам

Автор	1	2	3	4
Ссылки	1, 2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 5, 6, 7	1, 2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 6	5, 6	7

Авторы ранжированы (пронумерованы) по количеству поступивших от них ссылок (в порядке невозрастания). Сами ссылки пронумерованы в хронологическом порядке их поступления. Ссылки с двойным номером – одновременные, поступившие сразу на две работы ученого из одной и той же публикации (как такие ссылки вписываются в общую хронологию – определяется первой цифрой). Одни и те же ссылки встречаются в столбцах различных авторов, если цитирующая работа была выполнена в соавторстве. В сумме различных ссылок у рассматриваемого ученого – 9.

В таблице 1 данный ученый тоже представлен: как автор № 2 (то есть, имеет место самоцитирование). Автор № 1 – его научный руководитель. Пока молодой ученый, завершив обучение в аспирантуре, временно отвлекся на интенсивную преподавательскую работу, его научный руководитель продолжил публикационную активность (со ссылками на ранее выполненные публикации, совместные с бывшим аспирантом).

Как видно из приведенной таблицы, пороговое значение для неблокируемых ссылок равно 2: от автора № 2 поступило больше 2 ссылок, а от автора № 3 – ровно 2. Таким образом, авторы № 1 и № 2 образуют ядро цитирования, и от них оказываются засчитанными ссылки 1 и 2, выполненные в соавторстве. Заметим также, что ссылки 5 и 6, тоже выполненные в соавторстве, для авторов №1 и №2 оказались выше порога отсечения, но для автора № 3 –



ниже порога (этот автор вообще не попал в ядро). Как было сказано выше, такие ссылки предлагается засчитывать. Следовательно, незаблокированными оказываются ссылки 1, 2, 5, 6 и 7; общее количество – 5.

В таблице 2 показано, как распределены ссылки по публикациям ученого, в том числе, с учетом блокирования некоторых из них (разумеется, в расчет приняты только публикации с ненулевым цитированием). Публикации пронумерованы в порядке невозрастания незаблокированных ссылок.

Таблица 2. Распределение цитирований по публикациям

Публикация	1	2	3	4
Ссылки (полностью)	1, 2, 3.1, 4.1	3.2, 4.2, 6	5	7
Ссылки (после блокирования)	1, 2	6	5	7

Из таблицы 2, в частности, видно, что обычный индекс Хирша ученого равен 2, а если не брать в расчет заблокированные ссылки – 1.

Заключение

Предложенный в данной работе метод блокирования ссылок, исходящих от наиболее часто повторяющихся авторов, представляется более эффективным, чем предлагавшееся ранее использование *ch*-индекса [1]. При вычислении *ch*-индекса (альтернативы индекса Хирша) предполагалось, что данному конкретному ученому следует засчитывать только одну ссылку на любую его конкретную публикацию, исходящую от конкретного автора. Но тот же автор мог сослаться по одному разу и на все другие работы ученого – все такие ссылки предлагалось засчитывать без каких-либо исключений. Кроме того, предложенный подход содержит в себе конкретный способ корректирования показателей цитируемости ученого, а также всех известных индексов, на цитируемости основанных. Представляется, что это более перспективно, чем просто ограничиваться выявлением кластеров ко-цитирования либо предлагать алгоритмы, которые трудно сочетать с вычислениями общепринятых наукометрических показателей [3-4].

Также, предложенный метод в полной мере применим не только к ученым, но и к журналам. Это может стать альтернативой подходу, основанному на вычислении индекса Херфиндаля [15].

Библиографический список

1. Franceschini, F. Analysis of the *ch*-index: an indicator to evaluate the diffusion of scientific research output by citers / F. Franceschini, D. Maisano, A. Perotti, A. Proto // *Scientometrics*. – 2010. – Vol. 85. – Iss. 1. – PP. 203-217.
2. Штовба, С. Д. Обзор наукометрических показателей для оценки публи-кационной деятельности ученого / С. Д. Штовба, Е. В. Штовба // *Управление большими систе-*

мами: сборник трудов. – 2013. – № 44. – С. 262-278. – EDN RDQVOD.

3. Еременко, Т. В. Качество цитируемости трудов ученых региона: библиометрический анализ на примере Рязанской области / Т. В. Еременко // *Социология науки и технологий*. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 129-149. – DOI 10.24411/2079-0910-2019-12008. – EDN TMOASAS.

4. Новые наукометрические показатели, устойчивые к искусственному "улучшению" / В. И. Лойко, Д. А. Романов, В. Л. Шапошников [и др.] // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 127. – С. 557-583. – DOI 10.21515/1990-4665-127-038. – EDN YLZTQT.

5. Еременко, Т. В. Локальность цитирований как наукометрический показатель для ученых региона: к постановке проблемы / Т. В. Еременко // *Книга. Культура. Образование. Инновации : сборник докладов Пятого Международного профессионального форума «Крым-2019», Судак, 08–16 июня 2019 года / Государственная публичная научно-техническая библиотека России*. – Судак: Государственная публичная научно-техническая библиотека России, 2020. – С. 94-96. – DOI 10.33186/978-5-85638-223-4-2020-94-96. – EDN CKRPSL.

6. Лазарев, В. С. Неудовлетворительные определения или смутно понимаемое понятие? Об определениях термина "impact" / В. С. Лазарев // *Наука и научная информация*. – 2019. – Т. 2, № 1. – С. 63-78. – DOI 10.24108/2658-3143-2019-2-1-63-78. – EDN ZAHADB.

7. Лазарев, В. С. Свойство, которое на самом деле оценивают, когда говорят, что оценивают "impact" / В. С. Лазарев // *Наука и научная информация*. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 129-138. – DOI 10.24108/2658-3143-2019-2-2-129-138. – EDN LKSIWM.

8. Лазарев, В. С. Цитируемость как средство отражения ценности и качества научных документов, результативности учёных, нобелевского уровня исследований / В. С. Лазарев ; Под редакцией В.М. Тютюнника . – Тамбов-Москва-С-Петербург-Баку-Вена-Гамбург-Стокгольм-Буаке-Варна-Ташкент : Общество с ограниченной ответственностью "Международный Информационный Нобелевский Центр" (МИНЦ), 2020. – 64 с. – ISBN 978-5-86609-237-6. – EDN GYQEEO.

9. Лазарев, В. С. Можно ли считать уровень цитируемости научных документов показателем их качества? / В. С. Лазарев // *Наукометрия: методология, инструменты, практическое применение : Сборник научных статей / Под редакцией А.И. Груши*. – Минск : Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2018. – С. 88-103. – EDN XWSTVR.

10. Arnold, D. Nefarious Numbers / D. Arnold, K. Fowler // *Notices of the American Mathematical Society*. – 2011. – Vol. 58. – No. 3. – PP. 434–437.

11. Марвин, С. В. О статистической взаимосвязи между экспертными оценками научных журналов и их импакт-факторами / С. В. Марвин // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Филология. Социология. Право*. – 2019. – Т. 44, № 4. – С. 583-592. – DOI 10.18413/2075-4566-2019-44-4-583-592. – EDN JCBYTO.

12. Ausloos, M. A scientometrics law about co-authors and their ranking: the co-author core / M. Ausloos // *Scientometrics*. – 2013. – Vol. 95. – Iss. 3. – PP. 895-909.



13. Романов, Д. А. Современные методы оценки продуктивности исследовательской деятельности / Д. А. Романов, О. Б. Попова, Ю. С. Носова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 725-739. – EDN TRONGZ.

14. Марвин, С. В. Нормированный показатель публикационной активности, учитывающий количество соав-

торов научных публикаций / С. В. Марвин // Социология науки и технологий. – 2016. – Т. 7, № 4. – С. 116-133. – EDN XROPYU.

15. Демидов, Д. Д. Библиометрическая оценка отечественных библиотечно-информационных журналов / Д. Д. Демидов // Научные и технические библиотеки. – 2017. – № 8. – С. 3-17. – EDN ZEGVOT.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2023; принята к публикации 15.02.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 07.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.

РЕЦЕНЗИИ

УДК 69

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

РЕЦЕНЗИЯ

НА КОМПЛЕКС УЧЕБНЫХ И НАУЧНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ». АВТОРЫ: ДЕРГУНОВА А.В., БУЛГАКОВ А.Г., КАЗНАЧЕЕВ С.В., АФОНИН В.В.

© Автор 2023

SPIN: 3528-7452

AuthorID: 5135

ORCID: 0000-0002-0662-6595

ResearcherID: A-7251-2014

Scopus ID: 54386498100

ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук,

профессор, заведующий кафедрой прикладной механики,

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

(Россия, Саранск, e-mail: ias.dekanat@bk.ru)



Строительство является одной из ведущих сфер экономической деятельности. С каждым днем увеличивается разнообразие выполняемых строительных проектов, возрастает сложность самого строительства.

Строительные работы, как правило, отличаются повышенной сложностью и опасностью производства работ, а также монотонностью, что представляет особую трудность для рабочих. В тоже время успешность любого строительного проекта определяется тремя показателями: стоимость, качество, сроки.

Для повышения значений этих показателей необходимо совершенствование технологии и организации строительного производства на основе про-

грессивных отечественных и зарубежных технологий. Одними из таких технологий являются автоматизация и роботизация, которые позволяют ускорить процессы строительства, повысить качество и безопасность выполняемых работ, а также сократить долю ручного труда.

В комплекс научных и учебных работ включены учебные пособия, учебный план и рабочие программы, монографии и серия статей по автоматизации и роботизации в строительстве. Коллектив авторов в представленных работах рассматривает как обзорные разделы по автоматизации строительства, так и некоторые строгие выкладки обоснования методов и приемов САУ и САР. Раскрыты понятия автоматического и автоматизированного управления, характери-



стики датчиков и исполнительных устройств, приведены математические модели, с помощью которых могут быть описаны многие процессы и устройства, встречающиеся в строительстве. В частности, для линейных стационарных систем управления раскрыто понятие передаточной функции, дано описание САУ или САР в пространстве состояний, устойчивости, управляемости, наблюдаемости и качества управления. Материал пособия сопровождается функциональными схемами и схемами алгоритмов. Характер протекания процессов отображается в виде графиков.

Рассмотрены основы робототехники и роботизации процессов в строительстве. Дана характеристика автоматизации и роботизации строительных, бетонных, монтажных и отделочных работ, включая средства автоматического управления землеройно-транспортными машинами, автоматизацию строительных экскаваторов, автоматический контроль выполнения свайных работ, контроль и управление процессом приготовления бетонов, автоматизацию

и роботизацию процессов подачи и распределения бетонной смеси, автоматизацию опалубочных работ при возведении высотных зданий и сооружений, дистанционное и программное управление монтажными механизмами.

Учебные и научные труды предназначены для студентов строительных специальностей вузов и других технических направлений.

В целом рецензируемый комплекс документов по курсу «Автоматизация и роботизация в строительстве», включая учебные и научные труды: «Автоматизация и роботизация строительного производства», «Автоматизация и роботизация строительных процессов», по своему содержанию актуальны, достоверны, имеют практическую значимость, поэтому рекомендуются к участию в Конкурсе на медали и дипломы Российской академии архитектуры и строительных наук за научные и творческие работы в области архитектуры, градостроительства и строительных наук.



REVIEW OF THE COMPLEX OF EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC WORKS
UNDER THE COURSE OF "AUTOMATION AND ROBOTIZATION IN CONSTRUCTION". AUTHORS: DERGUNOVA A.V.,
BULGAKOV A.G., KAZNACHEEV S.V., AFONIN V.V.

© The Author(s) 2023

CHERKASOV Vasily Dmitrievich

Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof.

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev

(Russia, Saransk, e-mail: ias.dekanat@bk.ru)

Construction is one of the leading economic spheres. Every day increases the variety of construction projects performed, the complexity of the construction itself increases.

Construction work is generally characterized by increased complexity and hazards, as well as monotony, which is particularly difficult for workers. At the same time, the success of any construction project is determined by three indicators: cost, quality, timing.

In order to improve these indicators, it is necessary to modify the technology and organization of construction production on the basis of progressive domestic and foreign technologies. Some of these technologies are automation and robotization, which can speed up construction processes, improve the quality and safety of work, and reduce the share of manual labor.

The complex of authors' scientific and educational works includes teaching aids, curriculum and work programs, monographs and a series of articles on automation and robotization in construction. The team of authors considers both review sections on the automation of construction and some strict statements of justification of methods and techniques of automatic control systems and automatic regulation systems. The concepts of automatic control, the characteristics of sensors and mechanisms have been disclosed, mathematical models have been provided. With the help of these models, many construction processes and devices can be described. In particular, authors disclose the concept of transfer function for linear stationary control systems and give the description of automatic control

systems and automatic regulation systems in the space of states, stability, controllability, observability and quality of control. The material of the manual is accompanied by functional schemes. The nature of the process is displayed in the form of graphs.

The fundamentals of robotic processes in construction are considered. The characteristics of automation and robotization of construction, concrete, installation and finishing works, including means of automatic control of earth-moving vehicles, automation of construction excavators, automatic control of pile works, control and regulation of concrete preparation process, automation and robotization of concrete mixing feeding and distribution processes, form work automation in the construction of high-rise buildings and structures, remote management of installation mechanisms.

Educational and scientific works are intended for students of construction specialties and other technical spheres.

In general, the reviewed set of documents on the course "Automation and robotization in construction", including educational and scientific works: "Automation and robotization of construction production", "Automation and robotization of construction processes", in its content relevant, are reliable, have practical importance, therefore are recommended to participate in the competition for medals and diplomas of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences for scientific and creative works in the field of architecture, urban planning and construction sciences.

Рецензия поступила в редакцию 15.01.2023; принята к публикации 07.02.2023.

The article was submitted 15.01.2023; accepted for publication 07.02.2023.

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 ЖУРНАЛЕ

«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

(включен в категорию K1 перечня ВАК, пятилетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,64)

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);
- 5.1. – Право (социальные и гуманитарные науки).

Размещение статей в сетевом издании платное.

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

Статью высылать по адресу: expert763@mail.ru

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 2023 году - это статьи 2019-2023 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, **кегель – 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 отдельной 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 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
№ 1 (20) 2023 г.

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

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 1 (20) 2023

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

Материалы представлены в авторской редакции
Компьютерная верстка О.В. Егоровой
Дизайн обложки: e-mail: anna.sarachai@gmail.com

Подписано для публикации на сайте <http://expert763.ru> 13.03.2023.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 22,25.
Электронные текстовые данные (13,2 Мб). Распространяется бесплатно.

Учредитель, издатель и редакция журнала - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401,
+7(8482)539010, <http://expert763.ru>, expert763@mail.ru.

