

e-ISSN: 2782-7445

p-ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2023, №3 (22)

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 Владимир 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 государственный технический 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 Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 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 № ФС 77-83498 issued by Federal Service of Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications

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

- 1.1.8. Mechanics of a deformable solid body (physical and mathematical sciences) since 22.03.2022; (technical sciences) since 15.02.2023;
- 2.1.1. Building constructs, 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., Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

КОРОБКО Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники, механики

и робототехники, Орловский государственный университет им. Тургенева

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

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

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

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

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

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,

конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

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)

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

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

Svetlana V. VAVRENYUK – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical Sciences, Prof., 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. ERYASHEV – 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. Monastyrsev – Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Architecture, Construction and Transport, Tambov State Technical University

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

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

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

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

ПЕРСОНАЛИИ

Поздравляем Александра Анатольевича Трещева с 65–летним юбилеем	12
---	----

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ОБ ИТОГАХ XXIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ» ПЕТРОВ Владилен Васильевич, СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, РИМШИН Владимир Иванович, ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, ТЕЛИЧКО Виктор Григорьевич	20
ОБ ОСНОВНЫХ ИТОГАХ ВОСЬМОГО МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ» ТРАВУШ Владимир Ильич, АКИМОВ Павел Алексеевич, БЕЛОСТОЦКИЙ Александр Михайлович, СИДОРОВ Владимир Николаевич, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович, ЕВДОКИМЦЕВ Олег Владимирович, МАМОНТОВ Александр Александрович, МАМОНТОВ Семен Александрович.....	27

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ МАТЕРИАЛА ИЗ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ОБОЧИН АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АНДРИАНОВ Константин Анатольевич, ЗУБКОВ Анатолий Федорович, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович, МОРДАСОВ Денис Михайлович, СЕНИБАБНОВ Сергей Анатольевич	40
ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЗАБИВНЫХ СВАЙ БАЙБУРИН Альберт Халитович, ТОЛКЫНБАЕВ Темирхан Анапияевич, КОЧАРИН Николай Витальевич	46
РЕАКЦИОННОСПОСОБНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КАК ФАКТОРЫ РЕЦЕПТУРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ БАЛЫКОВ Артемий Сергеевич, КЯШКИН Владимир Михайлович, ВОЛОДИН Сергей Валерьевич.....	58
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ДИДКОВСКАЯ Ольга Всеволодовна, КНЯЗЬКИНА Екатерина Владимировна	64
РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С БИОЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ ЕЛЬЧИЩЕВА Татьяна Федоровна, ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович, ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна.....	69
НОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ИЛЬИН Николай Алексеевич, ПАНФИЛОВ Денис Александрович, КОЗЛОВ Александр Вячеславович, ВАСЮЧКИН Герман Романович.....	74

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МИКРО- И НАНО-КРЕМНЕЗЕМОМ ИЛЬИНА Лилия Владимировна, ТАЦКИ Людмила Николаевна, МОЛОДИН Владимир Викторович, КОЛЕСОВА Татьяна Дмитриевна	80
О СПОСОБАХ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА САМООЧИЩЕНИЯ У ФОТОКАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ КИЙКО Полина Игоревна, ЧЕРНЫХ Тамара Николаевна, СОЗЫКИН Сергей Анатольевич, ИЛЬИНА Лилия Владимировна	86
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСАДКА ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЁГКОГО БЕТОНА КРАСОВА Анна Викторовна, СМИРНОВА Ольга Евгеньевна, ШАХОВ Сергей Александрович	93
ОСОБЕННОСТИ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СТОЙКИХ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович	98
СТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СУРОДЕЕВ Максим Сергеевич, СЕЛЕЗНЕВ Вячеслав Алексеевич, МОНАХОВ Максим Николаевич, ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна, АФОНИН Виктор Васильевич	106
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА КИСЛОТОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ФЕДОРЦОВ Владислав Анатольевич, ГЛАДКИН Сергей Сергеевич, ФЕДОРЦОВ Анатолий Петрович, ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович.....	114
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕНОСТЕКЛА ФЕДОСОВ Сергей Викторович, БАКАНОВ Максим Олегович, ГРУШКО Ирина Сергеевна.....	121
УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА ФЕДОСОВ Сергей Викторович, ФЕДОСЕЕВ Вадим Николаевич, ЗАЙЦЕВА Ирина Александровна, ВОРОНОВ Владимир Андреевич	131

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИМЕЮЩИХ ПОВРЕЖДЕНИЯ АРМАТУРЫ ВСЛЕДСТВИЕ КОНТАКТА С ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ РИМШИН Владимир Иванович, СУЛЕЙМАНОВА Людмила Александровна, АМЕЛИН Павел Андреевич, КРЮЧКОВ Андрей Александрович.....	138
ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, ЛАЗАРЕВ Александр Львович, БУСАРГИН Дмитрий Александрович, АВЕРКИНА Маргарита Юрьевна	147

НЕКРОЛОГ

КУПРИЯНОВ ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ. НЕКРОЛОГ	153
<i>Условия размещения материалов</i>	<i>155</i>

CONTENT

PERSONALITIES

CONGRATULATIONS TO ALEXANDER ANATOLYEVICH TRETCHEV ON HIS 65TH ANNIVERSARY	12
--	----

CONFERENCE MATERIALS

SCIENTIFIC REPORT ON THE RESULTS OF THE XXIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE

"ACTUAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION AND CONSTRUCTION INDUSTRY"

PETROV Vladilen Vasilievich, SELYAEV Vladimir Pavlovich, RIMSHIN Vladimir Ivanovich, TRESHCHEV Alexander Anatolyevich, ANPILOV Sergey Mikhailovich, TELICHKO Victor Grigorievich	20
---	----

ABOUT MAIN RESULTS OF THE EIGHTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM

"ACTUAL PROBLEMS OF COMPUTER MODELING IN CIVIL ENGINEERING"

TRAVUSH Vladimir Ilyich, AKIMOV Pavel Alekseevich, BELOSTOTSKY Alexander Mikhailovich, SIDOROV Vladimir Nikolaevich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich, EVDOKIMTSEV Oleg Vladimirovich, MAMONTOV Alexander Alexandrovich, MAMONTOV Semyon Alexandrovich.....	27
--	----

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE LAYER ASPHALT GRANULATE WHEN STRENGTHENING ROADSIDES

ANDRIANOV Konstantin Anatolyevich, ZUBKOV Anatoly Fedorovich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich, MORDASOV Denis Mikhailovich, SENIBABNOV Sergey Anatolyevich.....	40
--	----

FUNCTIONAL AND COST ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF DRIVEN PILES

BAIBURIN Albert Khalitovich, TOLKYNBAYEV Temirkhan Anapiyevich, KOCHARIN Nikolay Vitalievich.....	46
--	----

REACTIVITY AND STRUCTURAL FEATURES AS FACTORS OF PRESCRIPTION EFFECTIVENESS OF MINERAL ADDITIVES IN PHOTOCATALYTIC CEMENT MATERIALS

BALYKOV Artemy Sergeevich, KYASHKIN Vladimir Mikhailovich, VOLODIN Sergey Valerievich	58
---	----

ENSURING THE COMPETITIVENESS OF A CONSTRUCTION ENTERPRISE IN MODERN CONDITIONS

DIDKOVSKAYA Olga Vsevolodovna, KNYAZKINA Ekaterina Vladimirovna.....	64
--	----

DEVELOPMENT OF A COMPOSITE BINDER WITH BIOCIDAL PROPERTIES

ELCHISHCHEVA Tatyana Fedorovna, EROFEEV Vladimir Trofimovich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich, EROFEEVA Irina Vladimirovna	69
---	----

NEW DEVICE FOR TESTING FIRE RESISTANCE OF SMALL SIZE FLAT PRODUCTS

ILYIN Nikolay Alekseevich, PANFILOV Denis Alexandrovich, KOZLOV Alexander Vyacheslavovich, VASYUCHKIN German Romanovich.....	74
---	----

LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH FOAM GLASS FILLER, MODIFIED MICRO AND NANO SILICA ILINA Liliia Vladimirovna, TATSKI Ludmila Nikolaevna, MOLODIN Vladimir Viktorovich, KOLESOVA Tatyana Dmitrievna.....	80
METHODS FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF THE SA-CLEANING PROCESS IN PHOTO-CATALYTICALLY ACTIVE BUILDING MATERIALS KIYKO Polina Igorevna, CHERNYKH Tamara Nikolaevna, SOZYKIN Sergey Anatolievich, ILINA Liliia Vladimirovna	86
INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF STORMWATER SLUDGE FOR USE IN THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE KRASOVA Anna Viktorovna, SMIRNOVA Olga Evgenievna, SHAKHOV Sergey Aleksandrovich.....	93
FEATURES OF FORMULATING AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR OBTAINING PERFORMANCE-RESISTANT PROTECTIVE COATINGS FOR METAL STRUCTURES PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich.....	98
STABILITY OF CEMENT COMPOSITES IN TERMS OF STRENGTH AND ELASTIC PLASTIC PROPERTIES UNDER CLIMATIC CONDITIONS SURODEEV Maxim Sergeevich, SELEZNEV Vyacheslav Alekseevich, MONAHOV Maxim Nikolaevich, EROFEEVA Irina Vladimirovna, AFONIN Viktor Vasilyevich	106
INFLUENCE OF COMPLEX ADDITIVE ON ACID-RESISTANCE-BONE OF CEMENT STONE FEDORTSOV Vladislav Anatolyevich, GLADKIN Sergey Sergeevich, FEDORTSOV Anatoly Petrovich, EROFEEV Vladimir Trofimovich	114
USE OF REGRESSION ANALYSIS FOR PREDICTION OF THE PERFORMANCE PROPERTIES OF FOAM GLASS FEDOSOV Sergey Viktorovich, BAKANOV Maksim Olegovich, GRUSHKO Irina Sergeevna	121
MANAGEMENT OF THE LIFE CYCLE OF A CONSTRUCTION FACILITY STEADY STATE FEDOSOV Sergey Viktorovich, FEDOSEEV Vadim Nikolaevich, ZAYCEVA Irina Alexandrovna, VORONOV Vladimir Andreevich.....	131

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

EXPERIMENTAL STUDIES OF BENT REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH REINFORCEMENT DAMAGE DUE TO CONTACT WITH AN AGGRESSIVE CHLORIDE ENVIRONMENT RIMSHIN Vladimir Ivanovich, SULEYMANOVA Lyudmila Aleksandrovna, AMELIN Pavel Andreevich, KRYUCHKOV Andrey Aleksandrovich	138
FRACTAL ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON THE MECHANICS OF DESTRUCTION OF CEMENT CONCRETE UNDER TENSION SELYAEV Vladimir Pavlovich, LAZAREV Alexander Lvovich, BUSARGIN Dmitry Alexandrovich, AVERKINA Margarita Yurievna	147

OBITUARY

KUPIRYANOV VALERY NIKOLAYEVICH. OBITUARY.....	153
<i>Conditions for posting materials.....</i>	155

ПЕРСОНАЛИИ

ПОЗДРАВЛЯЕМ
АЛЕКСАНДРА АНАТОЛЬЕВИЧА ТРЕЩЕВА
С 65–ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ



Редакционный совет, редакционная коллегия научно-практического сетевого издания «Эксперт: теория и практика» поздравляет с 65-летием, активного автора – члена редакционного совета, члена-корреспондента Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) по отделению «Строительные науки», доктора технических наук, профессора Александра Анатольевича Трещева.

Трещев Александр Анатольевич родился 12.08.1958 года в городе Туле. Отец Анатолий Федорович – буровой мастер объединения «Подземгаз». Мать Нина Викторовна – торговый работник (прошла путь от рядового продавца до заведующей крупным гастрономом в г. Туле, награждена орденом «Знак почета» и многими медалями).

Образование

А.А. Трещев выпускник 1980 года Тульского политехнического института (ТПИ), досрочно закончил аспирантуру и 18 июня 1985 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

24 октября 1995 года в диссертационном совете при Тверском государственном техническом университете под председательством д.т.н., профессора Зубчанинова В.Г. Александр Анатольевич защитил диссертации на соискание ученой степени д.т.н. по специальности 01.02.04 на тему: «Вариант подхода к построению определяющих соотношений раз-



носопротивляющихся материалов и использование его при расчете элементов конструкций».

В 1999 году ему присвоено ученое звание профессор.

В 2018 году избран членом-корреспондентом РААСН.

Научная деятельность

А.А. Трещев – известный ученый, практик, член Национального комитета РАН по теоретической и прикладной механике, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Почетный строитель России, Лауреат Премии им. С.И. Мосина, Лауреат Премии им. Гришманова И.А., дважды Лауреат конкурса им. Первопечатника Ивана Федорова, награжден медалью «Трудовая доблесть» 3-й степени и нагрудным знаком Национального объединения проектировщиков и изыскателей РФ, член трех диссертационных советов по присуждению ученой степени доктора наук по специальностям: Строительная механика; Механика деформируемого твердого тела; Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, член редколлегии и редакционных советов журналов: «Вестник ЧГПУ» (серия Механика предельного состояния); «Строительная механика и конструкции»; «Эксперт: теория и практика»; «Строительство и реконструкция», рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций; «Научный вестник ВГАСУ» (серия физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения); «Умные композиты», входящих в базу РИНЦ, член двух научных советов РААСН: «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре»; «По техническому регулированию в строительстве».

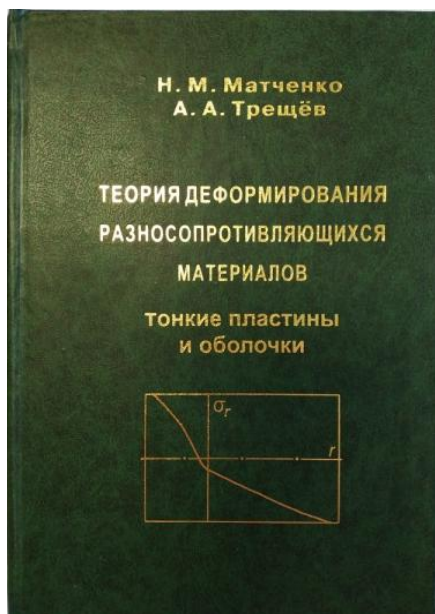


Рис. 1

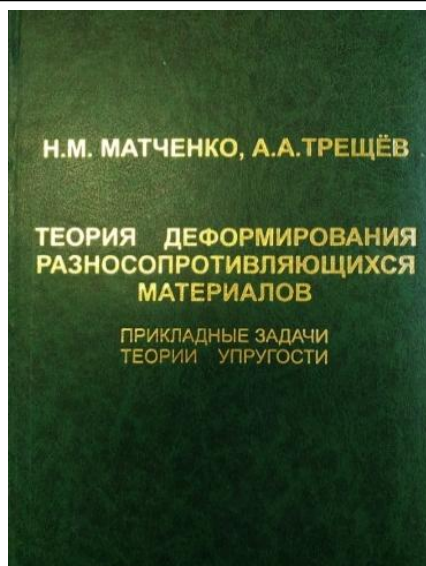


Рис. 2

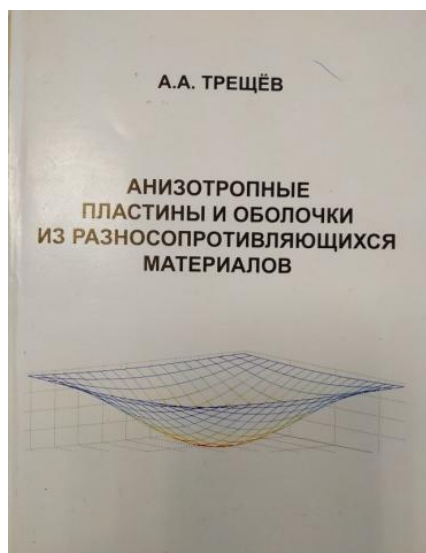


Рис. 3

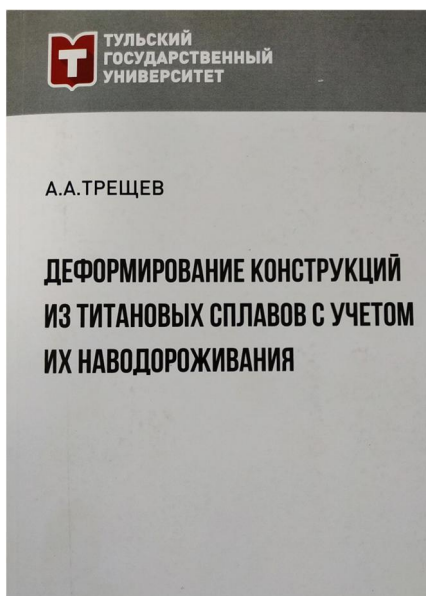


Рис. 4



Невозможно переоценить вклад Александра Анатольевича в развитие строительной науки нашей страны и в области его научных интересов по направлениям исследований:

- построения определяющих соотношения материалов склонных к дилатации, чувствительных к виду напряженного состояния, подверженных коррозионному охрупчиванию;

- разработке теории расчета строительных конструкций сложной конфигурации и структуры, выполненных из указанных материалов и подверженных действию агрессивных сред.

К наиболее существенным результатам научной деятельности относится разработка экспериментально обоснованных определяющих соотношений для конструктивных дилатирующих материалов, механические характеристики которых зависят от вида напряженного состояния, как изотропных, так и структурно анизотропных, в упругой и в пластической зонах деформаций.

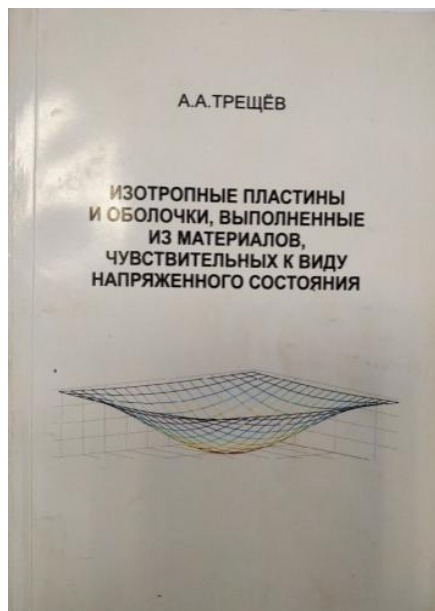


Рис. 5

Причем, как оказалось, что известные ранее уравнения состояния подобных материалов являются частными случаями, предложенной Трещевым А.А. теории.

Ученым разработаны новые теоретические основы расчета пространственных железобетонных конструкций, работающих с трещинами, основы расчета многослойных пластин и оболочек (геометрически линейная и нелинейная теория) из материалов, обладающих структурной и деформационной анизотропией при упругих и пластических деформациях.

Эти теории распространены на расчеты сложных строительных конструкций с учетом охрупчивания и коррозионного разрушения материалов, находящихся под действием агрессивных сред.

Разработанная автором теории деформирования и прочности разносопротивляющихся дилатирующих материалов, расчета пространственных железобетонных конструкций с учетом трещин конкретизирует требования документов по стандартизации в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов, содержащих в правилах по общим принципам в отношении процессов, указанных в п. 1.31-1.33 СНиП 2.03.01-84* и п. 6.1.3 СНиП 52-01-2003, СП63.13330-2018, Еврокод-2, утверждающих о необходимости учета геометрической и физической нелинейности, разносопротивляемости бетона, его дилатации.

Для компьютерного моделирования А.А. Трещевым предложены два вида новых высокоэффективных гибридных конечных элементов железобетонных плит и оболочек.

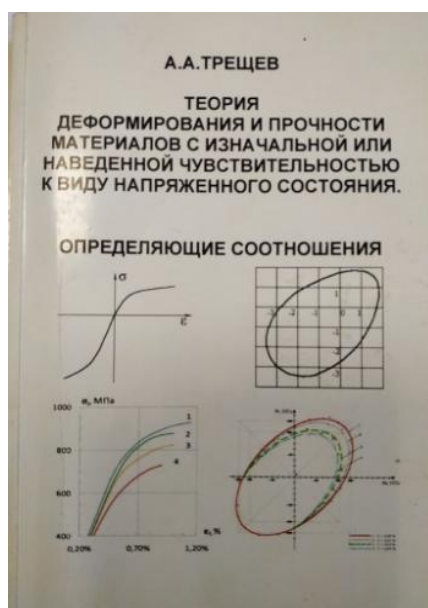


Рис. 6

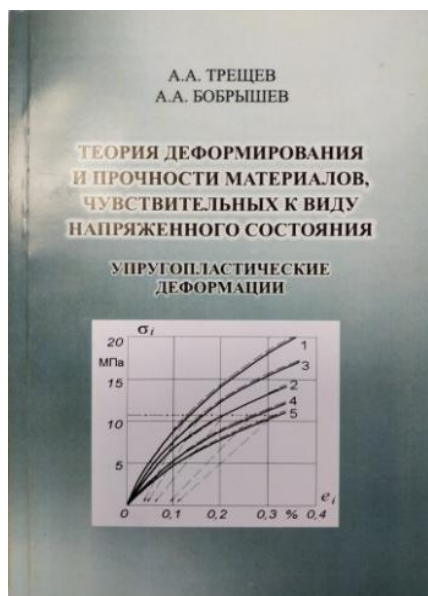


Рис. 7

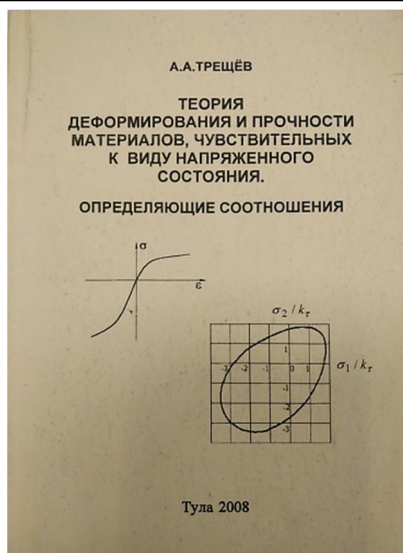


Рис. 8

Результаты научных исследований опубликованы в 893 научных работах, в т.ч. в 13 монографиях, учебнике и учебном пособии, получено 8 патентов на изобретения [1-11].

Наиболее важные работы автора (см. Рис. 1–12):

- «Анизотропные пластины и оболочки из разнородных материалов» (2007);

- «Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения» (2008);

- «Изотропные пластины и оболочки, выполненные из материалов, чувствительных к виду напряженного состояния» (2013);

- «Теория деформирования и прочности материалов с изначальной и наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения» (2016);



Рис. 9

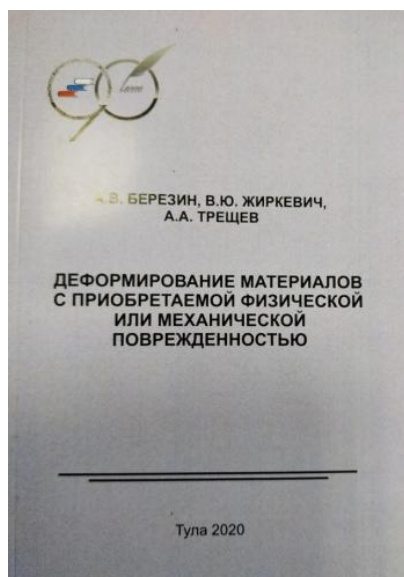


Рис. 11

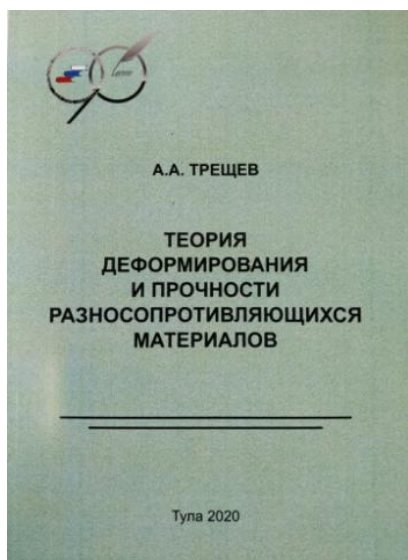


Рис. 10

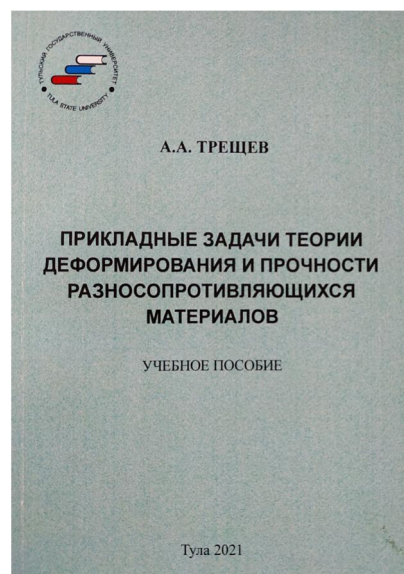


Рис. 12



Рис. 13



Рис. 14



Рис. 15. Победители конкурса «Янтарная сова» - 2023
Трещев А.А., Кузнецова В.А.

- «Теория деформирования пространственных железобетонных конструкций» (2019);
- «Деформирование материалов с приобретаемой физической или механической поврежденностью» (2020);
- «Деформирование конструкций из титановых сплавов с учетом их наводороживания» (2022).

Профессиональная деятельность

После окончания Тульского политехнического института, Александр Анатольевич по распределению остался работать на строительном факультете в ТПИ. Его дальнейший профессиональный путь беспрерывно связан с ВУЗом – инженер, старший инже-

нер, аспирант, м.н.с., ассистент, доцент каф. «Архитектура и строительные конструкции», зав. кафедрой «Строительные материалы и изделия», с 1999 года и по настоящее время – плодотворно работает профессором, заведующим кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции» Тульского государственного университета.

В результате руководства кафедрой юбилеем, кафедра стала лидером не только в университете, но и ведущей кафедрой в Минобрнауки РФ.

Трещев А.А. – это настоящий ученый и педагог, проявляющий высокий уровень твердости при отстаивании своей научной точки зрения, он настоящий профессионал, который под своим руководством и при научном консультировании подготовил более 42 кандидатов наук (к.т.н., к.ф.-м.н) и трех докторов (д.т.н).

Большинство профессорско-преподавательского состава молодого поколения кафедры, являются учениками юбиляра. А.А. Трещев преподает в университете следующие дисциплины:

- Строительные конструкции и изделия;
- Теория деформирования и прочности разнородных материалов;
- Механика пластин и оболочек;
- Методы обследования объектов и строительных конструкций;
- Основы механики деформируемого твердого тела.

В 2005 году при кафедре по инициативе Александра Анатольевича было создано хозрасчетное предприятие «Строительное проектирование» (ООО), специализирующегося в проектировании уникальных сооружений и проблемами экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений особо опасных производств, в котором он занимал по совместительству должности ведущего эксперта, генерального директора, технического директора и на базе которого была организована практически ориентированная научная школа.



Рис. 16



Рис. 17

Возглавляемая Трещевым А.А. научная школа – победитель конкурса грантов Президента РФ, Губернатора Тульской области, Правительства Тульской области. Опубликованные монографии трижды удостоены дипломов РААСН за лучший научный труд в области строительных наук.

В год признания в России особого статуса педагогических работников, выполняющих наставническую деятельность, свой юбилей Александр Анатольевич встречает полным сил и творческих идей, которыми щедро делится со своими учениками.

Редакционный совет и редакционная коллегия научно-практического сетевого издания «Эксперт: теория и практика» в этот замечательный юбилейный день, поздравляем Александра Анатольевича со столь высокими результатами его деятельности, выражаем глубочайшие признания Вашей надежности, душевной доброте, мудрости и желаем Вам крепкого здоровья, успехов, бодрости, счастья, благополучия, творческого долголетия в реализации намеченных целей и задач!

Библиографический список

1. Трещев, А. А. Вариант подхода к построению определяющих соотношений разносопротивляющихся материалов и использование его при расчете элементов конструкций : специальность 01.02.04 "Механика деформируемого твердого тела" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Трещев Александр Анатольевич, 1995. – 31 с. – EDN ZIYGFB.

2. Трещев, А. А. Вариант подхода к построению определяющих соотношений разносопротивляющихся материалов и использование его при расчете элементов конструкций : специальность 01.02.04 "Механика деформируемого твердого тела" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Трещев Александр Анатольевич. – Тула, 1995. – 501 с. – EDN NLHPGH.

3. Матченко, Н. М. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов = : The Theory of deformation of different resistant materials : прикладные задачи теории упругости : [монография] / Н. М. Матченко, А. А. Трещев ; Н. М. Матченко, А. А. Трещев ; Рос. акад. архитектуры и строит. наук, Тул. гос. ун-т. – Москва : Изд-во РААСН ;, 2004. – 211 с. – ISBN 5-7679-0500-2. – EDN QJPLHL.

4. Трещев, А. А. Анизотропные пластины и оболочки из разносопротивляющихся материалов / А. А. Трещев ; А. А. Трещев ; Российская акад. архитектуры и строительных наук, Тульский гос. ун-т. – Москва : РААСН ;, 2007. – ISBN 978-5-7679-0700-2. – EDN QJXOPR.

5. Патент № 2058464 С1 Российская Федерация, МПК E02D 17/00, E02D 27/01. Способ устройства фундаментов : № 93036946/03 : заявл. 19.07.1993 : опубл. 20.04.1996 / Н. И. Прохоров, Н. М. Матченко, А. А. Трещев, А. Н. Прохоров ; заявитель Тульский государственный технический университет. – EDN BPVDKU.

6. Патент № 2360071 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/08. Способ усиления фундаментов : № 2008108916/03 : заявл. 06.03.2008 : опубл. 27.06.2009 / Н. И. Прохоров, А. А. Трещев, В. Н. Хренов [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тульский государственный университет (ТулГУ). – EDN NIRTUQ.



7. Патент № 2596621 С1 Российская Федерация, МПК E02D 35/00. способ усиления фундамента : № 2015129161/03 : заявл. 16.07.2015 : опубл. 10.09.2016 / Н. И. Прохоров, А. Н. Панин, А. А. Трещев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тулльский государственный университет" (ТулГУ). – EDN ZEXFFJ.

8. Патент № 2241098 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/08, E02D 5/44. Способ усиления несущей способности буронабивной сваи : № 2003109038/03 : заявл. 31.03.2003 : опубл. 27.11.2004 / Н. И. Прохоров, А. А. Трещев, А. Н. Прохоров, В. А. Герасимов ; заявитель Тульский государственный университет. – EDN UEBZDC.

9. Патент № 2410492 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/08. Способ усиления фундаментов : № 2009138721/03 : заявл. 19.10.2009 : опубл. 27.01.2011 / Н. И. Прохоров, А. А. Трещев, В. Н. Хренов [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тулльский государственный университет" (ТулГУ). – EDN QZNMXS.

10. Патент № 2244782 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/08. способ усиления фундаментов : № 2003134974/03 : заявл. 02.12.2003 : опубл. 20.01.2005 / Н. И. Прохоров, А. А. Трещев, А. А. Огер [и др.] ; заявитель Тульский государственный университет (ТулГУ). – EDN ZOIJEL.

11. Патент № 2253716 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/08. способ усиления фундаментов : № 2003134976/03 : заявл. 02.12.2003 : опубл. 10.06.2005 / Н. И. Прохоров, А. А. Трещев, А. А. Огер [и др.] ; заявитель Тульский государственный университет (ТулГУ). – EDN SFGIWH.

12. Трещев Александр Анатольевич (к 50-летию со дня рождения) // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2008. – № 2(5). – С. 190-191. – EDN SZDWSX.

С уважением,
редакционный совет, редакционная коллегия
научно-практического сетевого издания
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

CONGRATULATIONS TO ALEXANDER ANATOLYEVICH TRETCHEV ON HIS 65TH ANNIVERSARY

The editorial board and the editorial office of the scientific and practical online journal "Expert: Theory and Practice" congratulate on the 65th anniversary Professor Alexander Treshchev - an active author, a member of the Reactionary Council, and a corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) on the branch "Construction Sciences", a Doctor of Technical Sciences,

In the year of recognition in Russia of the special status of pedagogical workers engaged in mentoring activities, Alexander approaches his anniversary brimming with energy and inventive ideas, which he generously imparts to his students. On this cherished anniversary day, the editorial board and the editorial office of the scientific and practical online journal "Expert: Theory and Practice" extend their sincere congratulations to Alexander Anatolyevich on the exceptional achievements of his career. We express our deep recognition of your reliability, kindness, and wisdom and wish you good health, success, cheerfulness, happiness, prosperity, and creative longevity in the implementation of your goals and objectives!

Sincerely,
the editorial board, editorial staff
of the scientific and practical online edition
"EXPERT: THEORY AND PRACTICE"

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

Материалы конференций

УДК 69

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; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_3_20

НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ОБ ИТОГАХ XXIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ»

© Авторы, 2023

SPIN: 2090-4982

AuthorID: 499723

ПЕТРОВ Владилен Васильевич

академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительные материалы, конструкции и технологии»

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

(Россия, Саратов, e-mail: vladilen307@gmail.com)

SPIN: 4845-3197

AuthorID: 131097

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович

академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ и РМ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

Российская академия архитектуры и строительных наук; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

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

SPIN: 9629-5322

AuthorID: 420903

ORCID 0000-0003-0209-7726

РИМШИН Владимир Иванович

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

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

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

SPIN: 8966-7812

AuthorID: 453902

ORCID 0000-0001-8601-4021

ScopusID: 6507502084

ResearcherID: ABA-7387-2021

ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ССМиК

Российская академия архитектуры и строительных наук; Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: taa58@yandex.ru)

SPIN: 1041-9513

AuthorID: 260821

ORCID: 0000-0002-6512-5803

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

эксперт, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

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

SPIN: 2755-2105

AuthorID: 449403

ScopusID: 56341418200

ResearcherID: AAN-5972-2020

ТЕЛИЧКО Виктор Григорьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры ССМиК

Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: katranv@yandex.ru)

Аннотация. В соответствии с Приказом Ректора ТулГУ О.А. Кравченко 29-30 июня 2023 года в Тульском государственном университете проведена 24-ая Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». Конференция проведена в смешанном формате (очном и заочном форматах с публикацией в сборнике материалов Конференции). Традиционная конференция организована в рамках стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года, а также в



рамках программы «Приоритет 2023». В качестве организаторов конференции выступили: Минобрнауки РФ, Российская академия архитектуры и строительных наук, а также Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тулский государственный университет». Конференция проводится с 2000 г. с целью популяризации строительной науки и для обсуждения проблем строительной отрасли и образования в целом, привлечения молодежи к научной деятельности. В ходе конференции обсуждены современные проблемы строительной науки в области технологии строительных материалов, изделий и конструкций, теории проектирования зданий, сооружений, отдельных конструкций и их эксплуатации, а также проблемы современного высшего образования по направлению «Строительство».

Ключевые слова: строительство; проблемы высшего образования; механика материалов; технология строительных материалов; строительные конструкции; проектирование; лёгкие стальные тонкостенные конструкции

Для цитирования: Научный отчет об итогах XXIV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» / В.В. Петров, В.П. Селяев, В.И. Римшин, А.А. Трещев, С.М. Анпилов, В.Г. Теличко // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 20-26. doi:10.51608/26867818_2023_3_20.

Conference materials

SCIENTIFIC REPORT ON THE RESULTS OF THE XXIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE "ACTUAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION AND CONSTRUCTION INDUSTRY"

© The Author(s) 2023

PETROV Vladilen Vasilievich

Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Professor of the Department «Building materials, structures and Technology»

Research and Development Institute of Building Physics of RAACS;

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

(Russia, Saratov, e-mail: vladilen307@gmail.com)

SELYAEV Vladimir Pavlovich

Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;

National Research Mordovian Ogarev State University

(Russia, Saransk, e-mail: ntorm80@mail.ru)

RIMSHIN Vladimir Ivanovich

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

Research and Development Institute of Building Physics of RAACS;

National Research Moscow State University of Civil Engineering

(Russia, Moscow, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

TRESHCHEV Alexander Anatolyevich

Corresponding Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;

Tula State University

(Russia, Tula, e-mail: taa58@yandex.ru)

ANPILOV Sergey Mikhailovich

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

Novosibirsk State Architectural and Construction University

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

TELICHKO Victor Grigorievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department

Tula State University

(Russia, Tula, e-mail: katranv@yandex.ru)

Abstract. In accordance with the Order of the Rector of TuSU O.A. Kravchenko on June 29-30, 2023, the 24th International Scientific and Technical Conference "Actual problems of construction and the construction industry" was held at Tula State



University. The conference was held in a mixed format (in presence and in absence with publication in the collection of works of the Conference formats). The traditional conference was organized as part of the strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030, as well as within the framework of the Priority 2023 program. The organizers of the conference were: the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, as well as the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tula State University". The conference has been held since 2000 with the aim of popularizing construction science and discussing the problems of the construction industry and education in general, attracting young people to scientific activities. During the conference, modern problems of building science in the field of technology of building materials, products and structures, the theory of designing buildings, structures, individual structures and their operation, as well as the problems of modern higher education in the direction of "Construction" were discussed.

Keywords: construction; problems of higher education; mechanics of materials; technology of building materials; building structures; design; light steel thin-walled structures

For citation: Scientific report on the results of the XXIV International scientific and technical conference "Actual problems of construction and construction industry" / V.V. Petrov, V.P. Selyaev, V.I. Rimshin, A.A. Treshchev, S.M. Anpilov, V.G. Telichko // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 20-26. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_20.

Тулльский государственный университет выступил гостеприимной площадкой для проведения XXIV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». В научном форуме приняли участие исследователи и ученые из многих регионов России и из-за рубежа.

Конференция проведена 29-30 июня 2023 года в Тульском государственном университете в смешанном формате (очном и заочном форматах с публикацией в сборнике материалов Конференции). Традиционная конференция (24-ая по счету) организована в рамках реализации стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года, а также в рамках программы «Приоритет 2023», в которой активное участие принимает Тульский государственный университет. Конференция проводится с 2000 г. с целью популяризации строительной науки и для обсуждения проблем строительной отрасли и образования в целом, привлечения молодежи к научной деятельности. В ходе проведения конференции планировалось обсудить современные проблемы строительной науки в области технологии строительных материалов, изделий и конструкций, теории проектирования зданий, сооружений, отдельных конструкций и их эксплуатации, а также проблемы современного высшего образования по направлению «Строительство».

Модератор конференции, ответственный за координацию подготовки и проведения Конференции: Трещев Александр Анатольевич – заместитель председателя Организационного комитета Конференции, член-корреспондент РААСН, Почетный строитель России, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, лауреат премии им. С.И. Мосина, лауреат премии им. И.А. Гришманова, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство, строительные материалы

и конструкции» Тульского государственного университета.

В качестве организаторов конференции выступили: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия архитектуры и строительных наук, а также федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет».

Участники конференции: ученые и специалисты научно-образовательных организаций из России и Азербайджана; сотрудники профессорско-преподавательского состава и руководители образовательных учреждений; специалисты-практики и руководители профильных организаций; докторанты, аспиранты и соискатели ученых степеней; студенты магистратуры вузов.

Ключевые мероприятия в рамках проведения настоящей Конференции:

- заседание конференции в очном формате 29 июня 2023 г.;

- заседание секции «Механика материалов и строительных конструкций, проектирование зданий и сооружений»;

- заседание секции «Технология и экологические проблемы строительных материалов»;

- заседание секции «Эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций»;

- заседание секции «Проблемы современного высшего образования по направлению «Строительство»

- подготовка и публикация материалов Конференции в сборнике материалов Конференции (запланировано на июль 2023 г.).

Всего в работе конференции приняло участие 65 представителей ВУЗов и других организаций, из них 15 сотрудников ТулГУ, 7 магистрантов, 4 аспиранта ТулГУ. Всего участие в конференции при-



няли 13 ВУЗов и 2 акционерных общества представляющих г. Тулу.

Организации – участники конференции:

ВУЗы:

- Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия;
- Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия;
- Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), г. Новосибирск, Россия;
- Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Россия;
- Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия;
- Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия;
- Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия;
- Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия;
- Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия;
- Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Иваново, Россия;
- Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия;
- Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия;
- Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия;
- Институт математики и механики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан.

Коммерческие и некоммерческие организации:

- ООО «Строительное проектирование», г. Тула, Россия;
- АО «Тулаоргтехстрой», г. Тула, Россия;
- АНО «Институт судебной строительно-технической экспертизы» г. Тольятти, Россия.

Оргкомитет конференции: председатель Кравченко О.А. - д.т.н., проф., ректор ТулГУ; заместитель председателя Трещёв А.А. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., зав. каф. ТулГУ; члены оргкомитета: Моисеев В.А. - президент АСРО ОПТО; Захарова И.А. - к.ф.-м.н., доц.; Теличко В.Г. - к.т.н., доц.; секретарь - к.т.н., асс. Кузнецова В.О.

Программный комитет конференции. Сопредседатели: Травуш В.И. - академик РААСН, д.т.н., проф., вице-президент РААСН (г. Москва); Акимов П.А. - академик РААСН, д.т.н., проф., ректор МГСУ

(г. Москва); Колчунов В.И. - академик РААСН, д.т.н., проф., ЮЗГУ (г. Курск); Петров В.В. - академик РААСН, д.т.н., проф., СГТУ (г. Саратов); Селяев В.П. - академик РААСН, д.т.н., проф., МГУ (г. Саранск).

Члены программного комитета:

- Анпилов С.М. - советник РААСН, д.т.н., проф., НГАСУ «Сибстрин» (г. Новосибирск);
- Белов В.В. - советник РААСН, д.т.н., проф., ТверьГТУ (г. Тверь);
- Белостоцкий А.М. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ООО «СтаДиО» (г. Москва);
- Ерофеев В.Т. - академик РААСН, д.т.н., проф., МГУ (г. Саранск);
- Монастырев П.В. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ТГТУ (г. Тамбов);
- Мондрус В.Л. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., МГСУ (г. Москва);
- Меркулов С.И. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., КГУ (г. Курск);
- Зубчанинов В.Г. - д.т.н., проф., ТверьГТУ (г. Тверь);
- Овчинников И.Г. - академик АТ, д.т.н., проф., СГТУ (г. Саратов);
- Римшин В.И. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., МГСУ (г. Москва);
- Румянцева В.Е. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ИГПУ (г. Иваново);
- Сидоров В.Н. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., МГСУ (г. Москва);
- Сколубович Ю.Л. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ректор НГАСУ «Сибстрин» (г. Новосибирск);
- Соколова Ю.А. - академик РААСН, д.т.н., проф., МГСУ (г. Москва);
- Сорочайкин А.Н. - д.ф.н., проф., директор АНО ИССТЭ (г. Тольятти);
- Федосов С.В. - академик РААСН, д.т.н., проф., МГСУ (г. Москва);
- Черкасов В.Д. - чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., МГУ (г. Саранск);
- Mueller W.H. - д.е.н., проф., Берлинский техн. ун-т (г. Берлин, Германия).

Тематические секции конференции: «Механика материалов и строительных конструкций, проектирование зданий и сооружений», «Технология и экологические проблемы строительных материалов», «Эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций», «Проблемы современного высшего образования по направлениям «Строительство».

Открытие конференции состоялось в аудитории 407 восьмого учебного корпуса Тульского государственного университета. Гость конференции, заслуженный изобретатель РФ, советник РААСН, По-



четный строитель, профессор, доктор технических наук Сергей Михайлович Анпилов в торжественной обстановке поздравил коллектив кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции» и участников конференции с ее открытием и вручил присутствующим книгу «О легких металлических конструкциях», посвященную 93-летию со дня рождения и деятельности профессора Нехаева Г.А.

Далее участники конференции приступили к рассмотрению вопросов, обозначенных в программе конференции.

Слово для доклада было предоставлено аспирантам кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции». С докладами, посвященными разработке и практическому применению теории деформирования анизотропных и ортотропных материалов чувствительных к виду напряженного состояния, выступили – аспирант кафедры ССМиК ТулГУ Дорошенко Д.И., тема доклада «Влияние перепада температур при осесимметричном нагружении круговой цилиндрической оболочки с учетом двух видов анизотропии» и аспирант кафедры ССМиК ТулГУ Бесстрашнов Д.О., тема доклада «Математическая модель основания из ортотропных слоев с учетом их деформационной псевдоеднородности».

С докладом, посвященным памяти и профессиональной деятельности известного в г. Туле и России специалиста по металлическим конструкциям, профессора Нехаева Г.А., выступила заместитель заведующего кафедрой ССМиК, к.ф.-м.н., доцент Захарова И.А.

Далее участники и гости конференции заслушали подробный доклад д.т.н., профессора НГАСУ «Сибстрин» Анпилов С.М. о разработке, проектировании, производстве и внедрении лёгких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в реальный сектор экономики, а также истории развития вопроса производства ЛСТК в Российской Федерации.

Докладчиком была представлена наглядная, графическая презентация по теме конференции, а также были продемонстрированы примеры разрабатываемых с участием докладчика в г. Тольятти укрупненной заводской сборки изделий и комплектов объектов, показаны реализованные на практике сооружения капитального строительства из инновационных ЛСТК.

С докладом о ситуации в строительной отрасли Тульской области, а также о перспективах развития строительного проектирования выступил генеральный директор АО «Тулаоргтехстрой» (г. Тула), президент ассоциации «Саморегулируемая организация «Объединение проектировщиков Тульской области» (АСРО «ОПТО») Моисеев В.А.

Также, с докладами выступили: доцент кафедры ССМиК Батырев К.Г., тема «Модульные конструкции из ЛСТК, как способ популяризации данной

технологии в малоэтажном строительстве», доцент кафедры ССМиК Чигинский Д.С. – темы докладов «О подходе к актуализации дисциплины «Легкие металлические конструкции» в рамках практических занятий и подготовки курсовых работ», «Инструментарий повышения надежности информационных моделей зданий и сооружений». Были заслушаны доклады доцента кафедры ССМиК Теличко В.Г. «Трещины нормального разрыва и сдвига при плоском напряженном состоянии тонкой полубесконечной пластинки из разносопротивляющегося изотропного материала» и «Симуляционное обучение автоматизированному строительному проектированию в дополнительном профессиональном образовании».

С докладами «Получение соотношений для расчета деформирования призматических оболочек из материалов, чувствительных к виду напряженного состояния», «Модель деформирования сферической оболочки на упругом основании, выполненной из материала с двойной анизотропией», «Ортотропия и нелинейность одновременно с приобретаемой псевдоеднородностью изгибаемых прямоугольных пластин средней толщины» выступил чл.-корр. РААСН, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ССМиК Трещев А.А.

В общей сложности, на конференции, в очной и заочной форме, было представлено 42, одобренных представительным программным комитетом, доклада. Было принято решение всем участникам Конференции выдать сертификаты участия, подтверждающие их участие в Конференции.

В процессе работы конференции участниками было приняты следующие решения:

1. Подобные конференции, проводимые кафедрой ССМиК ежегодно (в том числе и с очной формой участия), демонстрируют инновационные направления развития строительной науки, новые достижения в области развития технологий производства строительных материалов, развитие современного образования в области строительства как в России, так и в международном масштабе.

2. Кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции» имеет широкое представительство подготовленных ею кадров на предприятиях и в проектных организациях региона, а также высококвалифицированные научные кадры, что позволяет ей оказывать квалифицированную помощь заинтересованным компаниям и организациям в разработках теории и проектирования строительных сооружений, технологии строительных материалов, обследовании и усилении строительных конструкций. Достигнутые в этой области успехи делают привлекательным участие в проводимых конференциях широкого круга учёных и специалистов.

3. Конференция дала возможность всем заинтересованным в развитии строительной науки и



практики представить свои доклады и сообщения, получить информацию о новых теоретических разработках, инновационных технологиях и оборудовании, что способствует развитию не только организаций – участников конференции, но и всей строительной отрасли.

4. По результатам работы международной конференции принято решение опубликовать сборник материалов конференции. Отобранные программным комитетом доклады после доработки опубликовать в журнале «Эксперт: теория и практика» АНО «ИССТЭ», входящем в перечень ВАК по научным специальностям 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела», 2.1.1 «Строительные конструкции, здания и сооружения», 2.1.5 «Строительные материалы и изделия», 2.1.9 «Строительная механика».

5. По итогам проведения конференции подготовлен к публикации сборник материалов (см. рис. 1), представленных участниками XXIV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» объемом 248 страниц, который в ближайшее время будет направлен авторам принявшим участие в проведении конференции.

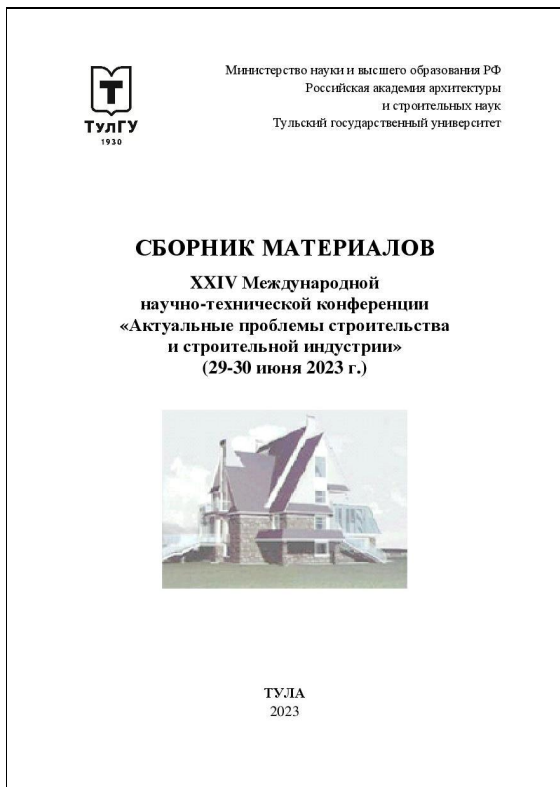


Рис. 1. Обложка сборника с материалами конференции

Библиографический список

1. Анпилов, С.М. Пути прогресса и развития в науке / С. Анпилов. – Тольятти : Автономная Некоммерческая

Организация "Институт судебной строительно-технической экспертизы", 2021. – 186 с. – ISBN 978-5-6044616-2-4. – DOI:10.51608/9785604461624. – EDN YTOIRW.

2. Березин, А.В. Деформирование материалов с приобретаемой физической или механической поврежденностью: монография / А.В. Березин, В.Ю. Жиркевич, А.А. Трещев. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. – 401 с.

3. Березин, А.В. Трещины в разносопротивляющихся дилатирующих материалах / А.В. Березин // Упругость и неупругость. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та. – 2011. – С. 304–307.

4. Захарова И.А., Панфилов Д.А. О легких металлических конструкциях (к 93-летию со дня рождения Г.А. Нехаева) / И.А. Захарова, Д.А. Панфилов. Тольятти : Издательство ИССТЭ, 2023. – 186 с. – DOI:10.51608/1800186823.

5. Концепция подготовки кадров для строительной отрасли до 2035 года. Проект (по состоянию на 17 октября 2022 г.). - М.: НИУ МГСУ, 2022.

6. Матченко, Н.М. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов. Прикладные задачи теории упругости / Н.М. Матченко, А.А. Трещёв // Прикладные задачи теории упругости. - М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2004. - 211 с.

7. Методические рекомендации по реализации дополнительных профессиональных программ с использованием дистанционных образовательных технологий, электронного обучения и в сетевой форме: Приложение к письму Министерства образования и науки Российской Федерации от 21 апреля 2015 г. № 1013/06 «О направлении методических рекомендаций по реализации дополнительных профессиональных программ».

8. Москвин, В. Почему в России до сих пор мало востребованы технологии ЛСТК / В. Москвин // СТРОИТЕЛЬСТВО.RU Всероссийский отраслевой интернет-журнал: электронный журнал. - URL: <https://rcmm.ru/tehnika-i-tehnologii/22464-pochemu-v-rossii-do-sih-por-malo-vostrebovany-tehnologii-lstk.html>. - Дата публикации: 12.05.2015.

8. Нехаев, Г.А. Конспект лекций. Лёгкие металлические конструкции. - Тула: ООО «ПроФСтальПрокат», 2012.

9. Пособие по проектированию строительных конструкций малоэтажных зданий из стальных холодногнутых оцинкованных профилей (ЛСТК) / АРСС. - Санкт-Петербург: Первый ИПХ, 2021.

10. 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 строительно-технической экспертизы», 2021. – 82 с. – DOI 10.51608/1206572708. – EDN YOYVHXL.

11. Расчёт элементов из стальных холодноформованных профилей в соответствии с Еврокодом 3 / Э. Уэй, М. Хэйвуд, Н.А. Беляев [и др.]. - Киев: УЦСС, 2015. - 104 с.

12. Рогачевский, Б. Факторы риска проектных организаций в проектных условиях // Вестник Национального объединения изыскателей и проектировщиков. - Москва, 2017. - № 8-9 (54-55). - Сентябрь-октябрь 2017. - с. 19.



13. Теличко, В.Г. Прочность многоэтажного здания из монолитного железобетона с учетом разносопротивляемости и повреждаемости материала / В.Г. Теличко, Н.В. Золотов // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 6 (80). – с. 22–31.

14. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. – Москва-Тула: РААСН – ТулГУ, 2016. – 328 с.

15. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещев. – Тула: ТулГУ, 2020. – 359 с.

16. Трещев, А.А. Теория деформирования пространственных железобетонных конструкций / А.А. Трещев, В.Г. Теличко. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2019. – 386 с.

17. Treschev, A.A. Constitutive relations for isotropic materials allowing quasi-linear approximation of the deformation law / A.A. Treschev, A.A. Bobrishev, L.N. Shafigullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 481 (2019). – 2019. – P. 1–7.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.07.2023; принята к публикации 15.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.07.2023; accepted for publication 15.08.2023.



Материалы конференций

УДК 004.94

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; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_3_27

**ОБ ОСНОВНЫХ ИТОГАХ ВОСЬМОГО МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

© Авторы, 2023

SPIN: 6462-2331

AuthorID: 562536

ORCID: 0000-0003-1991-7233

Scopus: 6602647191

SPIN: 3838-0100

AuthorID: 256191

ORCID: 0000-0001-6113-9952

Scopus: 35974766800

SPIN: 8372-9904

AuthorID: 16677

ORCID: 0000-0003-3727-2168

Scopus: 36771895000

SPIN: 1256-7343

AuthorID: 691222

ORCID: 0000-0001-8812-8022

Scopus: 39161892000

SPIN: 8674-6046

AuthorID: 661151

ORCID: 0000-0002-0885-0937

Scopus: 6504731515

SPIN: 5423-8873

AuthorID: 316871

ORCID: 0000-0002-1998-6661

Scopus: 57205441540

SPIN: 1143-7510

AuthorID: 657784

ORCID: 0000-0002-2606-9589

Scopus: 56490252300

SPIN: 8423-2539

AuthorID: 648799

ORCID: 0000-0002-3111-7565

Scopus: 57196442062

ТРАВУШ Владимир Ильич

академик РААСН, доктор технических наук, профессор, вице-президент

Российская академия архитектуры и строительных наук

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

АКИМОВ Павел Алексеевич

академик РААСН, доктор технических наук, профессор, ректор

Московский государственный строительный университет

(Россия, Москва, e-mail: pavel.akimov@gmail.com)

БЕЛОСТОЦКИЙ Александр Михайлович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор

Научно-исследовательский центр «СтаДиО»

(Россия, Москва, e-mail: amb@stadyo.ru)

СИДОРОВ Владимир Николаевич

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

Московский государственный строительный университет

(Россия, Москва, e-mail: sidorov.vladimir@gmail.com)

МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: monastyrev68@mail.ru)

ЕВДОКИМЦЕВ Олег Владимирович

кандидат технических наук, доцент

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: gent_tam@mail.ru)

МАМОНТОВ Александр Александрович

кандидат технических наук, доцент

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: sansanich1409@yandex.ru)

МАМОНТОВ Семен Александрович

кандидат технических наук, доцент

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: kardinal61@mail.ru)

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются основные итоги состоявшегося в период с 17 по 21 мая 2023 года в г. Тамбове на базе Тамбовского государственного технического университета под эгидой Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) VIII Международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений».

Ключевые слова: компьютерное моделирование; численное моделирование; конструкции; сооружения; программные комплексы; численные методы; симпозиум; строительная отрасль

Для цитирования: Об основных итогах восьмого международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» / В.И. Травуш, П.А. Акимов, А.М. Белостоцкий, В.Н. Сидоров, П.В. Монастырев, О.В. Евдокимцев, А.А. Мамонтов, С.А. Мамонтов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 27-39. doi:10.51608/26867818_2023_3_27.



**ABOUT MAIN RESULTS OF THE EIGHTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM
"ACTUAL PROBLEMS OF COMPUTER MODELING IN CIVIL ENGINEERING"**

© The Author(s) 2023

TRAVUSH Vladimir Ilyich

Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
Dr.Sc., Professor, vice president

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

(Russia, Moscow, e-mail: travush@mail.ru)

AKIMOV Pavel Alekseevich

Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
Dr.Sc., Professor

National Research Moscow State University of Civil Engineering

(Russia, Moscow, e-mail: pavel.akimov@gmail.com)

BELOSTOTSKY Alexander Mikhailovich

Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
Dr.Sc., Professor

Scientific Research Center "StadyO"

(Russia, Moscow, e-mail: amb@stadyo.ru)

SIDOROV Vladimir Nikolaevich

Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Construction
Science, Dr.Sc., Professor

National Research Moscow State University of Civil Engineering

(Russia, Moscow, e-mail: sidorov.vladimir@gmail.com)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich

Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Construction
Science, Dr.Sc., Professor

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: monastyrev68@mail.ru)

EVDOKIMTSEV Oleg Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: gent_tam@mail.ru)

MAMONTOV Alexander Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: sansanich1409@yandex.ru)

MAMONTOV Semyon Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: kardinal61@mail.ru)

Abstract. This article discusses the main results of the VIII International Symposium "Actual problems of computer modeling in civil engineering". Symposium held in Tambov in the Tambov State Technical University under the auspices of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) from May 17 to May 21, 2023.

Keywords: computer modeling; numerical modeling; structures; software systems; numerical methods; symposium

For citation: About main results of the eighth international symposium "Actual problems of computer modeling in civil engineering" / V.I. Travush, P.A. Akimov, A.M. Belostotsky, V.N. Sidorov, P.V. Monastyrev, O.V. Evdokimtsev, A.A. Mamontov, S.A. Mamontov // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 27-26. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_39.



1. Введение

VIII Международный симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» [1] проходил в период с 17 по 21 мая 2023 года под эгидой Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) в рамках реализации программы развития Отраслевого консорциума «Строительство и архитектура» в г. Тамбове на базе Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ) (фото 1) [2 - 10].

Решение о проведении Симпозиума в г. Тамбове было принято Научным Советом Российской академии архитектуры и строительных наук «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре» в июле 2021 года. Напомним, что Первый Симпозиум прошел в 2007 году в Нижнем Новгороде, затем были Пермь (2008 г.), Новочеркасск (2010 г.), Челябинск (2012 г.), Иркутск (2014 г.) [11], Владивосток (2016 г.) [12] и Новосибирск (2018 г.).



Фотография 1. Главный корпус Тамбовского государственного технического университета



Фотография 2. Открытие Симпозиума

(слева-направо: А.В. Грановский, О.В. Игнатъев, В.И. Травуш, Н.Н. Моисеева, П.В. Монастырев, Н.И. Карпенко, В.В. Галишникова, В.Я. Мищенко, Д.В. Панфилов, Е.П. Горбанева, В.Н. Сидоров, Г.Г. Кашеварова, А.М. Белостоцкий)



Материалы конференций

От Российской академии архитектуры и строительных наук работе Симпозиума приняли участие: первый вице-президент РААСН, академик РААСН, проф., д.т.н. В.И. Теличенко; вице-президент РААСН по направлению «Строительные науки», академик РААСН, проф., д.т.н. В.И. Травуш; главный ученый секретарь президиума РААСН, академик РААСН, проф., д.т.н. П.А. Акимов; академик-секретарь Отделения строительных наук РААСН, академик РААСН, проф., д.т.н. Н.И. Карпенко; академик РААСН, проф., д.т.н. А.М. Белостоцкий; председатель Центрального территориального отделения РААСН, академик РААСН, проф., д.т.н. В.И. Колчунов; академик РААСН, проф., д.т.н. Л.С. Ляхович; академик РААСН, проф., д.т.н. В.П. Селяев; академик РААСН, проф., д.т.н. С.В. Федосов; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. Г.Г. Кашеварова; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. Вл.И. Колчунов; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. С.Б. Крылов; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. С.А. Кудрявцев; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. Р.А. Мангушев; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. И.Т. Мирсаяпов; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. П.В. Монастырев; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. В.Л. Мондрус; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. А.Н. Потапов; член-корреспондент РААСН, д.т.н. В.Е. Румянцева; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. В.Н. Сидоров; член-корреспондент РААСН, проф., д.т.н. А.А. Трещев и др. (фото 2-10).

В Тамбов приехали около 200 участников из более чем 40 городов РФ и зарубежья. Своих веду-

щих специалистов на симпозиум направили Москва, Санкт-Петербург, Владивосток, Воронеж, Екатеринбург, Иваново, Макеевка (ДНР), Новосибирск, Орел, Новочеркасск, Курск, Иркутск, Пермь, Самара, Саранск, Томск, Тула, Хабаровск, Челябинск, Минск, Брест и т.д.

Соорганизаторами симпозиума стали Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Московский архитектурный институт (государственная академия) (МАрХИ), Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Российский университет транспорта (МИИТ) (РУТ (МИИТ)), Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Научно-исследовательский центр СтаДиО (АО НИЦ СтаДиО).

Спонсорскую поддержку оказали ООО Научно-проектная фирма «СКАД СОФТ», АО «АС-КОН», ООО «ЕВРОСОФТ», АО «НИЦ «Строительство», ООО «ТИК-ПРОДЖЕКТ», ООО «Специализированный застройщик «Строительная компания Жупиков», ООО «Бокинский Завод Строительных Конструкций», Ассоциация СРО «Тамбовские строители», Группа компаний «АСБ», Тамбовское отделение 8594 ПАО «Сбербанк России», ООО Проектный институт «Тамбовсельхозтехпроект», ООО «Газстальмонтаж», ООО «Группа компаний «Мегаполис», ООО «МОСТОСТРОЙ», ООО «Тамбовспецстрой».



Фотография 3. Открытие Симпозиума

(слева-направо: В.Е. Румянцева, С.В. Федосов, Ю.В. Панасенко, С.А. Кудрявцев, Б.О. Демин, В.И. Колчунов, Т.Ф. Ельчищева, В.И. Колчунов, Н.И. Карпенко, В.И.Теличенко, Л.С. Ляхович, В.Н. Сидоров)



2. Основные научные направления и мероприятия

На всех мероприятиях Симпозиума прошли содержательные дискуссии по широкому спектру научных направлений:

✓ Моделирование конструкций, зданий, сооружений и комплексов на стадиях их возведения, реконструкции, нагружений, сопротивляемости прогрессирующему разрушению.

✓ Моделирование нагрузок и воздействий на строительные конструкции, здания, сооружения и комплексы.

✓ Моделирование повреждаемости и разрушения конструкций и материалов. Математические модели и методы в системах мониторинга зданий и сооружений.

✓ Технологии информационного моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства.

✓ Нелинейные модели материалов, конструкций зданий и сооружений при расчетном обосновании проектов и оптимальном проектировании.

✓ Моделирование материалов и конструкций в нестационарных физико-механических условиях при сложных воздействиях.

✓ Возможности современных программных средств при анализе и проектировании строительных объектов. «Решатели» (солверы) в задачах ана-

лиза конструкций и сооружений при решении задач большой размерности.

✓ Математическое и компьютерное моделирование в архитектуре, градостроительстве и строительстве.

✓ Разработка, исследование и развитие численных и численно-аналитических методов расчета конструкций, зданий и сооружений.

✓ Оптимизация строительных конструкций.

✓ Методы искусственного интеллекта в архитектуре, градостроительстве и строительстве.

✓ Проблемы дидактики современного научно-инженерного знания в области цифровых технологий и компьютерного моделирования строительных конструкций. Совершенствование образовательной деятельности в образовательных организациях высшего образования политехнического профиля.

Помимо традиционных пленарных и секционных заседаний программа симпозиума включала круглые столы и мастер-классы по использованию современных программных расчетных комплексов и отечественных BIM-систем.

Под председательством ректора ТГТУ М.Н. Краснянского, академика РААСН В.И. Травуша и ректора НИУ МГСУ П.А. Акимова 17 мая состоялось заседание Отраслевого консорциума «Строительство и архитектура» (фото 4).

Участники обсудили вопросы подготовки кадров по строительным направлениям, изменения в



Фотография 4. Заседание Отраслевого консорциума «Строительство и архитектура» (слева-направо: Е.С. Мищенко, Н.В. Молоткова, В.И. Травуш, М.Н. Краснянский, В.В. Галишникова, О.В. Игнатьев, Н.И. Карпенко, Н.Н. Моисеева)



Материалы конференций

государственных образовательных стандартах в связи с указом Президента РФ Владимира Путина о переходе на национальную систему высшего образования, вопросы теоретической и практической подготовки строителей. Модерировал заседание проректор НИУ МГСУ В.В. Галишникова, а с основным докладом об изменении в государственных образовательных стандартах в связи с переходом на национальную систему высшего образования по направлению «Строительство» выступил проректор НИУ МГСУ О.В. Игнатъев. На заседании Отраслевого консорциума было подписано Соглашение о стратегическом партнерстве между ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» и Отраслевым консорциумом «Строительство и архитектура» (фото 5).



Фотография 5. Подписание Соглашения о стратегическом партнерстве между ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» и Отраслевым консорциумом «Строительство и архитектура» (слева-направо: М.Н. Краснянский, В.В. Галишникова, О.В. Игнатъев)

Общее собрание членов Центрального территориального отделения РААСН проходило 18 мая 2023 г., модератором которого выступил председатель ЦТО РААСН, академик Виталий Иванович Колчунов (фото 6).

В повестку общего собрания вошли вопросы о научно-техническом сотрудничестве ВУЗов, предприятий и организаций с представительствами ЦТО РААСН. С сообщением на тему «Предложения РААСН к созданию индустриальных конструктивных систем зданий нового поколения (для руководителей строительной отрасли)» выступили вице-президент РААСН Травуш В.И. и председатель ЦТО РААСН Колчунов В.И.

В рамках симпозиума также были проведены два круглых стола: «Региональные проблемы цифровизации строительной индустрии» (модератор – ректор ТГТУ Краснянский М.Н., фото 7) и «Критерии расчета ответственных зданий и сооружений на особые нагрузки и воздействия» (модераторы–профес-

сор НИУ МГСУ, д-р техн. наук Трекин Н.Н. и профессор НИУ МГСУ, д-р техн. наук Кабанцев О.В.). Участниками круглых столов выступили члены РААСН, представители ВУЗов и строительных организаций, разработчики программного обеспечения.



Фотография 6. Председатель ЦТО РААСН, академик В.И. Колчунов выступает с докладом на общем собрании членов ЦТО РААСН

Завершающими мероприятиями симпозиума стали два заседания Научных советов Российской академии архитектуры и строительных наук «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре» и «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов».

Заседание Научного совета РААСН «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре» проходило под председательством члена - корреспондента РААСН, д-ра техн. наук, профессора Сидорова Владимира Николаевича. На заседании были рассмотрены вопросы разработки национального программного обеспечения в области архитектуры и строительства, обсуждались стратегия работы Научного совета на 2023-2025 гг. и предложения о месте проведения IX Международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений».



Фотография 7. Круглый стол «Региональные проблемы цифровизации строительной индустрии»

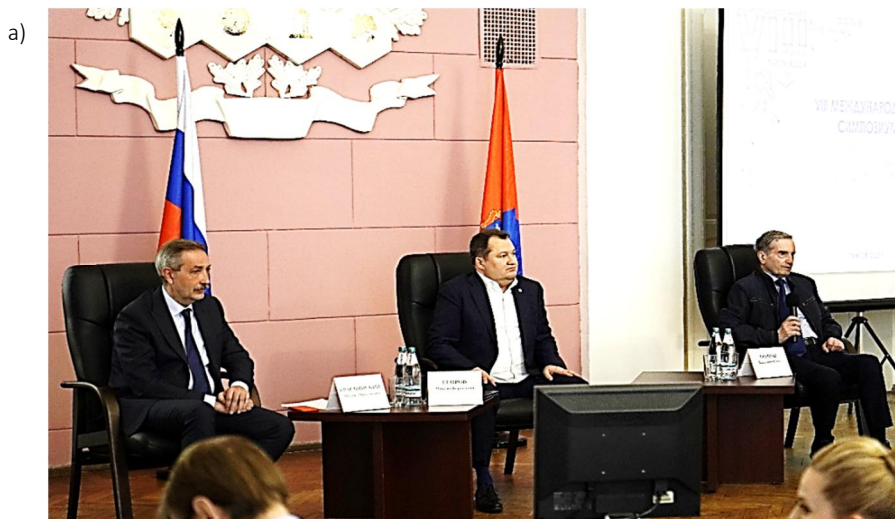


Заседание Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» проходило под председательством академика РААСН, д-ра техн. наук, профессора Селяева Владимира Павловича. На заседании обсуждалась стратегия работы Научного Совета в 2023

году и ближайшей перспективе, был сформирован план работы Научного Совета на 2023-2025 гг.

3. Научная программа симпозиума

Торжественное открытие Симпозиума началось с приветственных обращений председателя Ор-



слева-направо: ректор ТГУ М.Н. Краснянский; глава Тамбовской области М.Б. Егоров; академик РААСН В.И. Травуш



Фотография 8. Приветственное обращение академика Травуша В.И.(а), министра строительства и ЖКХ РФ И.Э. Файзуллина (б) и президента РААСН, академика Д.О. Швидковского (в)



Материалы конференций

ганизационного комитета, академика РААСН Владимира Ильича Травуша, министра строительства и ЖКХ РФ Ирека Энваровича Файзуллина, президента РААСН, академика Дмитрия Олеговича Швидковского и Главы Тамбовской области Максима Борисовича Егорова (фото 8).

Вице-президент РААСН В.И. Травуш и ректор ТГТУ М.Н. Краснянский вручили Аттестаты Советников РААСН доктору архитектуры, профессору кафедры архитектуры, градостроительства и графики Юго-западного государственного университета О.В. Воличенко (фото 9) и профессору кафедры архитектуры и градостроительства Тамбовского государственного технического университета, доктору технических наук А.И. Антонову.

В завершении торжественной части Глава Тамбовской области М.Б. Егоров от имени Организационного комитета наградил Благодарностями официальных партнеров Симпозиума: ООО «ТИК-ПРОДЖЕКТ», ООО «Специализированный застройщик «Строительная компания Жупиков», Ассоциация СРО «Тамбовские строители», ООО Научно-проектная фирма «СКАД СОФТ», ООО «Бокинский Завод Строительных Конструкций», АО «АСКОН», Группа компа-

ний «АСБ», Тамбовское отделение 8594 ПАО «Сбербанк России», ООО Проектный институт «Тамбовсельхозтехпроект», АО «НИЦ «Строительство», ООО «ЕВРОСОФТ», ООО «Газстальмонтаж», ООО «Группа компаний «Мегаполис», ООО «МОСТОСТРОЙ» и ООО «Тамбовспецстрой».



Фотография 9. Вручение Аттестата Советника РААСН доктору архитектуры, профессору кафедры архитектуры, градостроительства и графики Юго-западного государственного университета О.В. Воличенко

а)



б)



в)



г)



Фотография 10. Генеральные пленарные доклады А.М. Белостоцкого (а), С.С. Каприелова (б), В.И. Колчунова (в) и С.В. Федосова (г)



В первой части пленарного заседания были сделаны генеральные доклады: «Компьютерное моделирование уникальных зданий и сооружений на всех этапах жизненного цикла. Опыт 2018-2023 гг., проблемы и решения» (докладчик - академик РААСН Александр Михайлович Белостоцкий); «Новые модифицированные бетоны – качество и надежность сооружений в контексте зеленых технологий» (докладчик – академик РААСН Семен Суренович Каприелов); «Живучесть железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем при особых воздействиях» (докладчик – академик РААСН Виталий Иванович Колчунов) и «Инженерные решения задач математической физики в приложении к техническим проблемам строительных наук» (докладчик – академик РААСН Сергей Викторович Федосов) (фото 10).

Вторую часть пленарного заседания составили доклады «Моделирование шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей» (докладчик – А.И. Антонов); «Определение характерных особенностей работы перфорированного резинометаллического виброизолятора с использованием современных программных комплексов, реализующих метод конечного элемента» (докладчик – В.Л. Мандрюс); «Численное моделирование колебаний композитных рамных конструкций с учётом демпфирования с памятью» (докладчик – В.Н. Сидоров); «Моделирование многоэтажного железобетонного здания на многослойном деформируемом основании с учетом повреждаемости» (докладчик – А.А. Трещев); «Цифровые и интеллектуальные технологии в диагностике строительных объектов» (докладчик – Г.Г. Кашеварова); «Развитие и совершенствование теории статических расчетов стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании» (докладчик – О.В. Козунова); «О развитии и совершенствовании программного комплекса МКЭ для геотехнической практики» (докладчик – Р.А. Мангушев); «Расчетная модель деформирования грунтового основания высотного здания с учетом предыстории загрузки» (докладчик – И.Т. Мирсаяпов); «Математическое моделирование механических свойств вязкоупругих материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона» (докладчик – М.В. Шитикова).

Остальная программа Симпозиума включила в себя более 160 докладов, которые были озвучены на восьми секциях: «Моделирование нагрузок и воздействий на строительные конструкции, здания, сооружения и комплексы» (Секция №1. Модераторы - А.М. Белостоцкий и Т.А. Белаш); «Технологии информационного моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства» (Секция №2. Модераторы - Н.Г. Келасьев и А.И. Антонов); «Разработка, исследование и развитие численных и численно-аналитических методов расчета конструкций,

зданий и сооружений» (Секция №3. Модераторы - В.К. Ахметов и А.Н. Потапов); «Нелинейные модели материалов, конструкций зданий и сооружений при расчетном обосновании проектов и оптимальном проектировании» (Секция №4. Модераторы - В.В. Лалин и М.В. Шитикова); «Моделирование конструкций, зданий, сооружений и комплексов на стадиях их возведения, реконструкции, нагружений, сопротивления прогрессирующему разрушению» (Секция №5. Модератор - Г.Г. Кашеварова); «Математическое и компьютерное моделирование в архитектуре, градостроительстве и строительстве» (Секция №6. Модераторы - В.И. Леденев и Н.Н. Трекин); «Моделирование материалов и конструкций в нестационарных физико-механических условиях при сложных воздействиях» (Секция №7. Модераторы - Т.Л. Дмитриева и А.Н. Мамин); «Моделирование повреждаемости и разрушения конструкций и материалов. Математические модели и методы в системах мониторинга зданий и сооружений» (Секция №8. Модераторы - С.Б. Крылов и Т.А. Низина).

4. Публикации

На основании материалов, присланных участниками Симпозиума, до начала его работы был опубликован сборник тезисов докладов, проиндексированный в базе данных РИНЦ [13].

Полноразмерные статьи, подготовленные по материалам представленных докладов, отобраны и рекомендованы Программным комитетом для публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях: «Academia. Архитектура и строительство»; «International Journal for Computational Civil and Structural Engineering»; «Вестник МГСУ»; «Строительство: наука и образование»; «Эксперт: теория и практика»; «Строительство и реконструкция»; «Journal of Advanced Materials and Technologies»; «Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского»; «Вестник Тамбовского государственного технического университета»; «Advanced Structured Materials, издательство Springer».

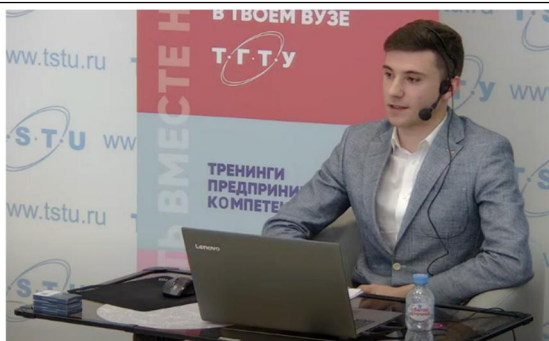
5. Мастер-классы

В рамках симпозиума было проведено четыре мастер-класса специалистами ведущих кампаний в области расчета строительных конструкций и ТИМ-проектирования.

Мастер-класс «АСКОН» (организатор – «АСКОН – Центральная Россия», преподаватель - специалист по внедрению BIM-систем, АСКОН – Центральная Россия Орлов Александр Александрович) ознакомил слушателей с процедурой создания архитектурной модели и внутренних инженерных систем в BIM-системе «Renga», а также с созданием консолидированной модели и её проверки на коллизии в Pilot-BIM (фото 11).

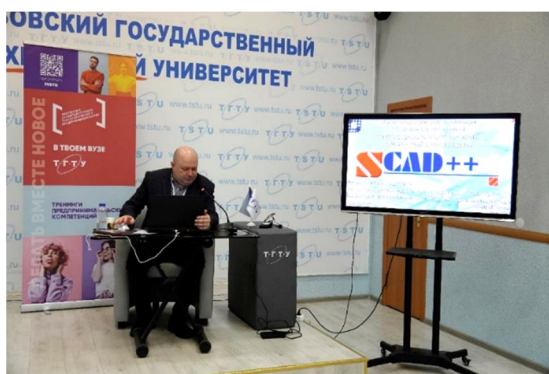


Материалы конференций

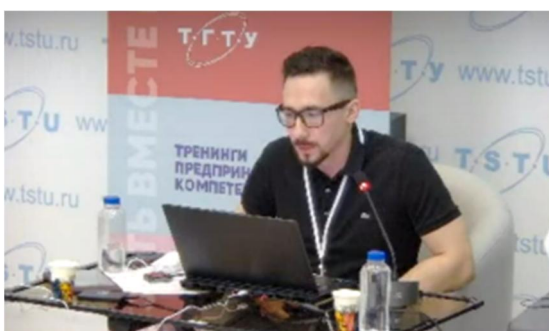


Фотография 11. Мастер-класс Орлова А.А.
(«АСКОН – Центральная Россия»)

Заместитель генерального директора по маркетингу ООО НПФ «СКАД СОФТ» Теплых Андрей Владимирович и ведущий инженер-программист ООО НПФ «СКАД СОФТ» Резяпкин Владимир Викторович на своих мастер-классах представили пример расчета кирпичных зданий в SCADOffice и рассказали о возможности использования динамического решателя SCAD++ для быстрого решения нелинейных статических и динамических задач (фото 12-13).



Фотография 12. Мастер-класс Теплых А.А.
(ООО НПФ «СКАД СОФТ»)



Фотография 13. Мастер-класс Резяпкина В.В.
(ООО НПФ «СКАД СОФТ»)

Дистанционный мастер-класс «Некоторые аспекты создания и расчета моделей в ПК Лири-САПР» (организатор - ООО «Лири сервис», преподаватели - ведущие инженеры ООО «Лири сервис» Каманин Алексей Михайлович и Мельников Алексей Александрович) был посвящен алгоритмизированному автоматическому созданию расчетных моделей в «Сап-

фир-Генератор» и расчету стальных стержневых конструкций по деформированной схеме с учетом эффектов 1 и 2 рода.

Руководитель группы экспертных расчетов Лаборатории автоматизации исследований и проектирования сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Панасенко Юрий Вячеславович (ООО «ЕВРОСОФТ»), провел мастер-класс «Моделирование несущих конструкций зданий и сооружений в российском программном комплексе СТАРКОН» (фото 14).



Фотография 14. Мастер-класс Панасенко Ю.В.
(ООО «ЕВРОСОФТ»)

Подробная информация о площадках Симпозиума, фотографии и видеоматериалы приведены на его сайте - <http://8apscse.tstu.ru/>.

6. Культурная программа симпозиума

В рамках Симпозиума 18 мая 2023 г. состоялось выездное заседание Программного комитета в город-наукоград Мичуринск. Во время выездного заседания Программный комитет познакомился с архитектурными памятниками русской провинциальной глубинки конца 18 начала 20 столетия.



Фотография 15. Программный комитет
у Боголюбского кафедрального собора г. Мичуринска
(слева-направо: В.Л. Мондрус, В.Е. Румянцева,
В.Н. Сидоров, Л.С. Ляхович, И.Ю. Сидорова,
А.М. Белостоцкий, О.А. Белостоцкая, В.И. Теличенко,
Т.Л. Дмитриева, Г.Г. Кашеварова, В.К. Ахметов)



Участники заседания посетили одну из главных архитектурных доминант города - Боголюбский кафедральный собор (фото 15), музей-усадьбу и картинную галерею народного художника СССР А.М. Герасимова (фото 16), дом-музей знаменитого русского и советского биолога, селекционера и академика И.В. Мичурина (фото 17-18).



Фотография 16. В галерее А.М. Герасимова (г. Мичуринск)

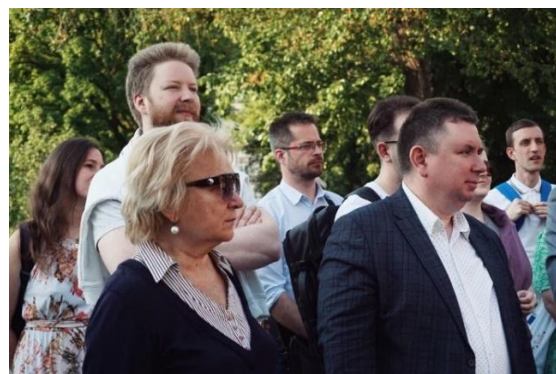


Фотография 17. У памятника ученому-селекционеру И.В. Мичурину (слева-направо: С.С. Каприелов, Г.Г. Кашеварова, В.Е. Румянцева, В.Л. Мондрус, В.К. Ахметов, Т.Л. Дмитриева, А.М. Белостоцкий, В.Н. Сидоров, И.Ю. Сидорова, О.А. Белостоцкая)



Фотография 18. Во дворе дома-музея И.В. Мичурина

Со всеми желающими участниками Симпозиума были проведены пешеходные и автобусная экскурсии по г. Тамбову (фото 19): шик-модерн по – тамбовски; православные святыни Тамбова с посещением дома-музея архиепископа Луки; мифы и предания Тамбовского края. Гости познакомились с православными святынями г. Тамбова, посетили дом-музей архиепископа Луки, а также смогли оценить всю красоту архитектурного стиля модерн, в котором выполнены самые знаковые памятники архитектуры города.



Фотография 19. Экскурсии по г. Тамбову

Культурная программа Симпозиума завершилась 20 мая выездом гостей на музыкальный фестиваль «Сиреневая ночь», посвященный в 2023 году



150-летию со дня рождения С.В. Рахманинова (фото 20). Фестиваль проходил в музее-заповеднике С.В. Рахманинова «Ивановка», расположенном в д. Ивановка Уваровского района Тамбовской области.



Фотография 20. На фестивале «Сиреневая ночь» в музей-заповеднике С.В. Рахманинова (слева-направо: А.М. Демин, И.С. Грушко, А.В. Кузнецов)

7. Выводы

Симпозиум позволил произвести оценку современного состояния российской науки и практики в сфере компьютерного моделирования зданий и сооружений с учётом ретроспективного анализа, осмысления пройденного пути и полученного опыта в период 1990 – 2023 гг., а также прогнозирования и программирования их развития в период до 2035 г.

Организационный и Программный комитеты Симпозиума уверены в несомненной полезности и ценности обмена мнениями представителей науки, бизнеса и власти, которое проходило на разнообразных площадках Симпозиума. Целью этого взаимодействия стала выработка направлений и содержания, механизмов и рычагов эффективного развития, движения к новым успехам и достижениям в области компьютерного моделирования конструкций и сооружений, цифровизации строительной отрасли.

8. Планы на будущее

Несмотря на то, что на данный момент окончательного решения о месте проведения IX Международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» не принято, есть абсолютная уверенность, что он обязательно состоится и будет не менее интересен для практиков и теоретиков в соответствующей сфере деятельности.

Библиографический список

1. Травуш, В.И. О восьмом международном симпозиуме РААСН «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» / Травуш В.И., Акимов П.А., Белостоцкий А.М., Сидоров В.Н., Монастырев П.В. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. - № 19(2). С.205–213.

2. Монастырев, П.В. Архитектурно-строительное образование в Тамбовском ГТУ: достижения и стратегия развития / П.В. Монастырев, Н.В. Кузнецова, О.В. Умнова //

Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С.8 – 16.

3. Монастырев, П.В. Концепция преобразования факультета в институт в рамках реструктуризации университета / П.В. Монастырев, О.В. Евдокимцев // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. – 2014. – Вып. 13. – С.157 – 165.

4. Монастырев, П.В. Профильный институт нового типа как основа инновационного развития университета / П.В. Монастырев, О.В. Евдокимцев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: Международная научно-практическая конференция. – Тамбов, ТГТУ. – 2014. – С. 15 – 22.

5. Монастырев, П.В. Институт архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ в решении задач устойчивого развития региона: наука, образование, творчество / П.В. Монастырев, О.В. Евдокимцев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: сб. материалов VI Международной научно-практической конференции; ТГТУ. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 16 – 25.

6. Монастырев, П.В. Институт архитектуры, строительства и транспорта в проблемах устойчивого развития региона / П.В. Монастырев, О.В. Евдокимцев, В.А. Гавриков, Г.В. Зеленин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт: сб. материалов VIII Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 46 – 68.

7. Мищенко, Е.С. Опыт международного научно-образовательного сотрудничества в области архитектуры и строительства / Е.С. Мищенко, П.В. Монастырев // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 10 – 15.

8. Мищенко, Е.С. Международное сотрудничество Тамбовского государственного технического университета в области архитектуры и строительства / Е.С. Мищенко, П.В. Монастырев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы 2-й международной научно-практической конференции. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2015. – С.7 – 10.

9. Мищенко, Е.С. Международное сотрудничество как инструмент повышения качества строительного образования в Тамбовской области / Е.С. Мищенко, П.В. Монастырев, О.В. Евдокимцев, А.А. Мамонтов, С.А. Мамонтов // Безопасность критических инфраструктур и территорий. Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур Safety2018 : сборник. – 2018. – С. 243 – 249.

10. Монастырев, П.В. Строительное образование в период цифровизации экономики РФ / П.В. Монастырев, О.В. Умнова, С.А. Струлев // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции; ТГТУ – Тамбов: изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.278 – 280.

11. Травуш В.И., Акимов П.А., Белостоцкий А.М., Дмитриева Т.Л., Сидоров В.Н. Об истории и основных итогах Пятого международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 10, Issue 3, 2014, pp. 176-183.

12. В.И. Травуш, П.А. Акимов, А.В. Баенхаев, А.Т. Беккер, А.М. Белостоцкий, Т.Б. Кайтуков, В.Н. Сидоров. Об основных итогах Шестого Международного симпозиума



«Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 12, Issue 3, 2016, pp. 129-144.

13. Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума. Под редакцией Сидорова В.Н. и Монастырева П.В. / 2023, 436 стр. [<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52693501&selid=53113693>]

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 21.06.2023; принята к публикации 15.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 21.06.2023; accepted for publication 15.08.2023.

Научная статья

УДК 625 7/8 + 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_3_40

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ МАТЕРИАЛА ИЗ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ОБОЧИН АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

© Авторы 2023

SPIN: 1771-7181

AuthorID: 260005

АНДРИАНОВ Константин Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги»

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: konst-68@yandex.ru)

SPIN: 4118-5150

AuthorID: 704799

ЗУБКОВ Анатолий Федорович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: afzubkov2013@yandex.ru)

SPIN: 8674-6046

AuthorID: 661151

ORCID: 0000-0002-0885-0937

Scopus Author ID: 6504731515

ResearcherID: S-6516-2016

МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института «Архитектура, строительство и транспорт»

Российская академия архитектуры и строительных наук;

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: monastyrev68@mail.ru)

SPIN: 6930-3480

AuthorID: 186786

МОРДАСОВ Денис Михайлович

доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Материалы и технология»

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: dmmordasov@rambler.ru, mit@tstu.ru)

СЕНИБАБНОВ Сергей Анатольевич

аспирант

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, Тамбов, e-mail: gsiad@mail.tambov.ru)

Аннотация. Безопасность дорожного движения зависит от состояния дорожного покрытия и обочин автомобильных дорог. Для укрепления обочин применяются отходы при фрезеровании покрытий нежесткого типа. Достижение максимальной плотности уплотняемого материала возможно при условии обеспечения определенного соотношения между пределом прочности и напряжениями в зоне контакта рабочего органа уплотняющей машины. В статье получены зависимости предела прочности, деформации слоя и коэффициентов уплотнения слоя асфальтогранулята от нагрузки, толщины и размера фракций при уплотнении. Полученные зависимости могут быть использованы при моделировании технологических процессов устройства дорожных конструкций с требуемыми прочностными характеристиками.

Ключевые слова: асфальтогранулят; нагрузка; деформация; уплотнение; обочина; автомобильные дороги; дорожное строительство

Для цитирования: Определение влияния параметров слоя материала из асфальтогранулята при укреплении обочин автомобильных дорог / К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков, П.В. Монастырев, Д.М. Мордасов, С.А. Сенибабнов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 40-45. doi:10.51608/26867818_2023_3_40.



Original article

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE LAYER ASPHALT GRANULATE
WHEN STRENGTHENING ROADSIDES

© The Author(s) 2023

ANDRIANOV Konstantin Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Urban Construction and Roads»

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: konst-68@yandex.ru)

ZUBKOV Anatoly Fedorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department «Urban Construction and Roads»

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: afzubkov2013@yandex.ru)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich

Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute «Architecture, Construction and Transport»
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: monasteryrev68@mail.ru)

MORDASOV Denis Mikhailovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Materials and Technology»

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: dmmordasov@rambler.ru, mit@tstu.ru)

SENIBABNOV Sergey Anatolyevich

PhD Candidate

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov, e-mail: gsiad@mail.tambov.ru)

Abstract. Road safety depends on the condition of the road surface and roadsides. To strengthen roadsides, waste is used when milling non-rigid type pavements. Achieving the maximum density of the compacted material is possible provided that a certain ratio between the tensile strength and stresses in the contact zone of the working body of the compacting machine is ensured. In the article, the dependence of the tensile strength, layer deformation and compaction coefficients of the asphalt granulate layer on the load, thickness and size of the fractions during compaction are obtained. The obtained dependencies can be used in modeling technological processes for the construction of road structures with the required strength characteristics.

Keywords: asphalt granulate; load; deformation; sealing; roadside

For citation: Determination of the influence of the parameters of the layer asphalt granulate when strengthening roadsides / K.A. Andrianov, A.F. Zubkov, P.V. Monastyrev, D.M. Mordasov, S.A. Senibabnov // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 40-45. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_40.

Введение. Безопасность дорожного движения зависит не только от состояния дорожного покрытия, но и обочин автомобильных дорог. Укрепленные обочины дороги обеспечивают повышение прочности грунтового основания под проезжей частью на 6–8% и позволяют повысить среднюю скорость транспортного потока на 5–10%. Неудовлетворительное состояние обочин дороги способствует возникновению ДТП (16–20%) [1].

При выполнении работ по реконструкции и капитальному ремонту автомобильных дорог возникает необходимость разрушения дорожного покрытия не-

жесткого типа, которое выполняется с использованием дорожных фрез. Полученный материал, при соответствии его характеристик требованиям ГОСТ 8267, используется для укрепления обочин, устройства подъездных дорог, оснований пешеходных тротуаров, площадок и временных объездов, что уменьшает затраты на материалы. Нормативным документом ОДМ 218.6.1.005-2021 определены состав, области применения и технологические регламенты на производство работ с использованием отходов при холодном фрезеровании асфальтобетонных покрытий. Согласно рекомендациям ТР 103-07 в зависимости от области приме-



нения асфальтогранулят разделяют на фракции 5-10 мм, 10-20 мм, 5-20 мм и 20-40 мм и укладывают слоями разной толщины, что влияет на предел прочности и деформативную способность слоя при действии уплотняющей нагрузки.

Установлено, что максимальная плотность уплотняемого материала обеспечивается при соблюдении определенного соотношения между пределом прочности уплотняемого слоя и напряжениями в зоне контакта рабочего органа уплотняющей машины. Документом СП 78.13330.2012 определены параметры машин для уплотнения асфальтогранулята, которые по своим характеристикам относятся к группе тяжелых катков и должны применяться на заключительной стадии уплотнения. Изменение свойств материала в зависимости от гранулометрического состава и толщины слоя при укладке требуют уточнения характеристик слоя с учетом требуемой нагрузки при уплотнении.

Методика проведения испытаний. Под действием нагрузки в слое асфальтогранулята проявляются упруго-вязкопластические свойства, влияющие на процесс уплотнения. Для уточнения влияния нагрузки на развитие деформаций с учетом параметров слоя необходимо знать характеристики материала, которые определяются на основании экспериментальных исследований. Определение характеристик слоя асфальтогранулята выполнялось при действии нагрузки на образец с учетом толщины слоя и размера фракций.

Измерение деформации слоя смеси выполнялось на установке, позволяющей измерять деформацию (полную, остаточную и упругую) индикатором часового типа с точностью до 0,01 мм при контролируемой нагрузке с использованием гидравлического пресса ПГ-500. Толщина уплотняемого слоя принималась 0,05 м; 0,10 м; 0,15 м и 0,20 м. Для уточнения влияния размера фракций на характеристики слоя материал был разделен на фракции 5-10 мм, 10-20 мм, 5-20 мм и 20-40 мм. Испытание образцов проводилось на одноосное сжатие, соответствующее состоянию уложенной смеси в выбоину дорожного покрытия. При укладке материала осуществлялся контроль за толщиной слоя.

Принятая методика проведения испытаний позволяет оценить прочность образца материала при постоянной скорости нагружения и деформативность слоя при действии циклической нагрузки.

После укладки и предварительного уплотнения слоя на поверхность устанавливается металлический штамп. Верхнюю плиту пресса устанавливают выше уровня поверхности штампа на 1,5-2,0 мм. Для измерения деформации индикатор, прикрепленный к стойке, размещают таким образом, чтобы подвижная часть его ножи касалась верхней плиты пресса. После этого на образец через штамп прикладывается

нагрузка. По заданной величине напряжения с помощью индикатора часового типа определяется деформация штампа. После замера полной деформации под нагрузкой на штамп нагрузка снимается и производится замер упругой деформации. Затем цикл повторяется. За конечный результат принимается среднее арифметическое значение испытаний трех образцов, округленное до второго десятичного знака.

Результаты экспериментального исследования. Установлено, что предел прочности на сжатие слоя асфальтогранулята зависит от размера фракций и его толщины при укладке, что необходимо учитывать при выборе уплотняющих машин [2-10]. Зависимость предела прочности слоя асфальтогранулята с учетом гранулометрического состава и толщины слоя представлено на рис. 1.

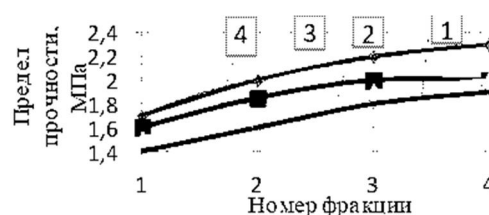


Рис. 1. Зависимость предела прочности слоя асфальтогранулята от гранулометрического состава и его толщины:

1 – толщина слоя 0,05 м; 2 – 0,10 м; 3 – 0,15 м; 4 – 0,20 м

Из полученных данных на рис. 1 видно, что с увеличением размера частиц фракции предел прочности слоя возрастает, что объясняется изменением структуры материала. Независимо от толщины слоя имеется общая закономерность предела прочности слоя, которая подчиняется логарифмической зависимости.

Для уточнения влияния размера фракций на предел прочности слоя представим данные на рис. 1 в относительных величинах, принимая предел прочности каждой фракции при толщине слоя 0,05 м, за единицу. Обозначим принятую величину коэффициентом K_{ϕ} , характеризующим размер фракции асфальтогранулята. Численное значение коэффициента K_{ϕ} определяется из выражения:

$$K_{\phi} = 0,243 \ln N + 1,01, \quad (1)$$

где N – номер фракции, 1 - фракция 5-10 мм; 2 - фракция 10-20 мм; 3 - фракция 5-20 мм; 4 - фракция 20-40 мм. Коэффициент корреляции уравнения равен 0,99.

Для установления влияния толщины слоя на предел прочности принимаем данные на рис. 1 в относительных значениях, принимая (условно) предел прочности слоя толщиной 0,05 м независимо от размера фракции, за единицу. Обозначим принятую величину коэффициентом K_h , характеризующим влияние толщины на предел прочности слоя. Численное значение коэффициента определяется по формуле:

$$K_h = 1,06 e^{-1,347h}, \quad (2)$$

где h - толщина слоя гранулята, м. Коэффициент корреляции равен 0,99.

С учетом установленных значений обобщенных коэффициентов K_ϕ и K_h величина предела прочности слоя асфальтогранулята определяется по формуле:

$$\sigma_{np} = 1,8K_\phi e^{-1,326h}, \text{ МПа.} \quad (3)$$

Относительная погрешность расчетного значения предела прочности слоя по установленной зависимости составляет около 5%.

Эффективность работы уплотняющих машин определяется величиной деформации слоя, которая характеризует изменение плотности материала в уплотняемом слое. Деформация слоя под действием нагрузки зависит от напряжения в зоне контакта рабочего органа машины с поверхностью слоя, свойств материала и параметров слоя [10-15].

По результатам исследований установлены зависимости деформации слоя с учетом его толщины и гранулометрического состава фракции, которые представлены на рис. 2.

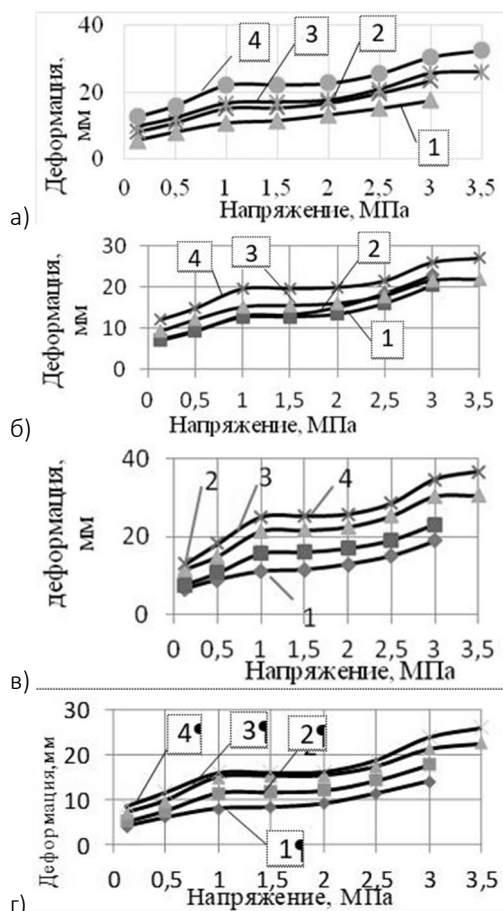


Рис. 2. Зависимость суммарной остаточной деформации слоя от напряжения при разной его толщине и гранулометрическом составе:

а – фракция 5-10 мм; б – 10-20 мм; в – 5-20 мм;
г – 20-40 мм; 1 - толщина слоя 0,05 м; 2 - 0,10 м;
3 - 0,15 м; 4 – 0,2 м

Из представленных на рис. 2 данных видно, характер развития остаточной деформации независимо от состава асфальтогранулята и толщины слоя подчиняется общей закономерности. С увеличением толщины слоя деформация возрастает. С ростом нагрузки до 1,0 МПа независимо от размера фракции между деформацией слоя и нагрузкой существует линейная зависимость. С увеличением напряжения от 1,0 до 2,0 МПа характер развития деформации для фракций 5-10 мм и 5-20 мм и толщине слоя 0,05 м отличается от развития деформаций для фракций 10-20 мм и 20-40 мм. Это объясняется тем, что под действием нагрузки между частицами фракций 10-20 мм и 20-40 мм возникает контактная структура, требующая для дальнейшего развития деформации увеличения нагрузки. Возникновение контактов между частицами гранулята способствует развитию не только напряжений сжатия, но и сдвига, что способствует перемещению частиц в горизонтальной плоскости. Аналогичные процессы наблюдаются в слоях с толщиной от 0,1 до 0,2 м при нагрузке 1,0 до 2,0 МПа независимо от размера фракций.

Для установления общей зависимости деформации слоя под действием нагрузки, представим данные на рис. 2 в относительных значениях, условно принимая деформацию каждого слоя независимо от размера фракции и толщины слоя при напряжении 1,0 МПа, за единицу. Обозначим данную величину коэффициентом влияния напряжения K_σ на деформацию слоя материала. Аналогично определяем влияние толщины слоя на деформацию слоя, принимая деформацию каждого слоя при толщине 0,05 м, за единицу. Обозначим данную величину коэффициентом K_{h0} , характеризующим влияния толщины слоя на деформацию.

Анализ численных значений коэффициентов K_σ и K_{h0} показал, что независимо от размера фракций асфальтогранулята имеются общие закономерности развития деформации от действия нагрузки, которые определяется зависимостями:

$$K_\sigma = -0,0578\sigma^4 + 0,454\sigma^3 - 1,17\sigma^2 + 1,32\sigma + 0,4, \quad (4)$$

$$K_{h0} = 1026h^3 - 442h^2 - 62,13h - 1,13, \quad (5)$$

где σ - напряжение, МПа; h – толщина слоя, м. Коэффициент корреляции уравнений составляет 0,98-0,99.

Для установления влияния размера фракции гранулята на деформацию слоя принимаем обобщенную величину деформации при напряжении 0,125 МПа каждой фракции. Обозначим принятую величину в относительных значениях через коэффициент влияния размера фракции $K_{фрак}$ на деформацию слоя. Численное значение $K_{фрак}$ определяется выражением:

$$K_{фрак} = 0,47e^{0,08N}, \quad (6)$$



где N - номер фракции, 1 – фракция 5-20 мм; 2 – 20-40 мм; 3 - 5-10 мм; 4 -10-20 мм. Коэффициент корреляции равен 0,98.

В общем виде величина деформации слоя гранулята с учетом размера фракции, толщины слоя и нагрузки определяется по формуле:

$$\lambda = K_{\text{фрак}} K_{\text{со}} K_{\text{до}}, \text{ мм.} \quad (7)$$

Величиной, характеризующей процесс уплотнения материала, является коэффициент уплотнения (K_v). Для уточнения влияния деформации на коэффициент уплотнения проведены исследования на стенде модели CRT-RC-H2. Принцип работы стенда основан на воздействии контролируемой нагрузки в виде сегмента с радиусом 0,5 м на поверхность уложенного в поддон стенда слоя материала. Испытывались фракции 5-20 и 20-40 мм при толщине слоя 0,05 и 0,1 м. Окончание уплотнения происходило при достижении заданного количества циклов нагружения. Коэффициент уплотнения слоя определялся неразрушающим методом с применением прибора ПАБ-1. Исследования проводились согласно ПНСТ 185-2016 (EN 12697-33). В процессе проведения эксперимента определялись плотность и суммарная деформация слоя после проходов рабочего органа. По результатам испытания установлена связь между коэффициентом уплотнения слоя асфальтогранулята и его деформацией. Значение коэффициента уплотнения от деформации при толщине слоя 0,05 м определяется уравнениями:

- для фракции 5-20 мм:

$$K_v = 0,73e^{0,012\lambda}, \quad (8)$$

- для фракции 20-40 мм:

$$K_v = 0,66e^{0,041\lambda}. \quad (9)$$

С увеличением толщины слоя свыше 0,1 м связь между коэффициентом уплотнения и деформацией определяется уравнениями:

- для фракции 5-20 мм:

$$K_v = 0,47e^{0,036\lambda}, \quad (10)$$

- для фракции 20-40 мм:

$$K_v = 0,72e^{0,014\lambda}, \quad (11)$$

где λ – деформация слоя, мм. Коэффициент корреляции равен 0,95-0,97.

Установлено, что при уплотнении фракции 5-20 мм требуемый коэффициент уплотнения 0,97 обеспечивается с использованием катков статического действия. Для обеспечения требуемой плотности фракции 20-40 мм необходимо применять вибрационные катки.

Выводы:

1. Установлена зависимость предела прочности слоя асфальтогранулята от размера фракции и толщины слоя, что позволяет обосновать параметры уплотняющих машин.

2. Установлены аналитические зависимости деформации слоя от напряжения, толщины слоя и размера фракций асфальтогранулята.

3. Получены зависимости коэффициента уплотнения асфальтогранулята от деформации слоя при уплотнении.

Библиографический список

1. Алексиков, С. В. Использование фрезерованного асфальтобетона для укрепления обочин автомобильных дорог / С. В. Алексиков, А. Н. Бадрудинова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2012. – № 7. – С. 40-45. – EDN RCPEQZ.

2. Гезенцев, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев - М.: Транспорт, 1985. – 239 с.

3. Зубков, А.Ф. Технология строительства и ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с учетом температурных режимов асфальтобетонных смесей / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, А.И. Антонов, В.Г. Однолько - Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. - 300с.

4. Куприянов, Р. В. Определение температуры асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий нежесткого типа / Р. В. Куприянов, В. А. Лузгачев, А. Ф. Зубков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 3(39). – С. 68-77. – EDN UHAEOJ.

5. Носов, С.В. Разработка технологий уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов на основе развития их реологии : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.11 / Носов С. В. - Воронеж, 2013. - 366 с.

6. Пермяков, В.Б. Обоснование величины контактных давлений для уплотнения асфальтобетонных смесей / В.Б. Пермяков, А.В. Захаренко // Строит.и дорож. машины. - 1989. - № 5. - С. 12-13.

7. Пилецкий, М. Э. Исследование битумоинертальной смеси, применяемой для ямочного ремонта дорожных покрытий струйно-инъекционным методом / М. Э. Пилецкий, А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 19-23. – EDN YUNGSD.

8. Сенибабнов, С. А. Методика разработки технологии устройства дорожных конструкций с применением асфальтогранулята / С. А. Сенибабнов, К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 2(58). – С. 84-99. – DOI 10.36622/VSTU.2020.58.2.007. – EDN PJQCVW.

9. Хархута, Н.Я. Вопросы теории уплотнения дорожных покрытий / Н. Я. Хархута // Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд: тр. Союздорнии. - Москва, 1980. - С. 64-71.

10. Influence of thickness and granulometric composition of granular asphalt on its strength characteristics when placing into the road pavement / E. G. Pakhomova, K. Andrianov, A. Zubkov, P. Monastirev // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – Vol. 18, No. 2. – P. 192-197. – DOI 10.5937/jaes18-26311. – EDN IWIIUA.

11. Калгин, Ю.И. Применение асфальтогранулята для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог для смесей типа К (с добавками цемента и битумной эмульсии) / Ю.И.Калгин, М.Н.Паневич // Научный вестник



Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2016. – Вып.4(44). – С. 120-127.

12. Калгин, Ю. И. Органоминеральные смеси с асфальтогранулятом для капитального ремонта дорожных одежд / Ю. И. Калгин, Н. А. Барабась // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – № 1. – С. 42-48. – EDN JDGIEZ.

13. Определение реологических характеристик асфальтогранулята при устройстве слоев дорожной одежды / С. А. Сенибабнов, К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков, А. А. Кузнецов // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2021. – № 1(12). – С. 37-42. – EDN UMYDUW.

14. Эффективность применения асфальтогранулята при ремонте и реконструкции автомобильных дорог / Л. С. Зарапина, Л. М. Макая, С. А. Сенибабнов [и др.] //

Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е.М., Тамбов, 21–22 сентября 2022 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2022. – С. 346-349. – EDN KLVXXU.

15. Зубков, А. Ф. Моделирование процессов уплотнения асфальтогранулята с использованием экспериментальных данных / А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, С. А. Сенибабнов // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2023. – С. 293-295. – EDN JIBCHY.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 06.07.2023; одобрена после рецензирования 15.08.2023; принята к публикации 15.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 06.07.2023; approved after reviewing 15.08.2023; accepted for publication 15.08.2023.



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_3_46

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЗАБИВНЫХ СВАЙ

© Авторы, 2023

SPIN: 5927-9812

AuthorID: 266980

ORCID 0000-0002-7432-5671

БАЙБУРИН Альберт Халитович

доктор технических наук, профессор кафедры Строительного производства и теории сооружений

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

(Россия, Челябинск, e-mail: abayburin@mail.ru)

ТОЛКЫНБАЕВ Темирхан Анапияевич

доктор технических наук, профессор кафедры строительства

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

(Республика Казахстан, Астана, e-mail: temtol1961@mail.ru)

SPIN: 2585-1227

AuthorID: 1107553

КОЧАРИН Николай Витальевич

старший преподаватель кафедры Строительного производства и теории сооружений

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

(Россия, Челябинск, e-mail: kocharinnv@susu.ru)

Аннотация. В статье производится исследование технологического процесса свайных работ с целью совершенствования технологии с применением методологии ФСА и ТРИЗ. Показаны особенности выполнения этапов ФСА и функционально-идеального моделирования (ФИМ) с учетом специфики строительных технологий. В результате структурного, функционального анализа и оценки затрат определены приоритеты свертывания операций. Сформулированы нежелательные эффекты каждой операции. Составлена причинно-следственная цепочка недостатков существующей технологии. После процедуры ФИМ предложена технология 3D позиционирования мостовой сваебойной установки с автоматическим управлением движением и погружением свай. Новая технология позволяет устранить операции разбивки свайного поля, предварительной раскладки свай и ряд нежелательных эффектов. При этом появляются дополнительные сверхэффекты, позволяющие превратить мостовую установку в универсальный строительный манипулятор для возведения нулевого цикла.

Ключевые слова: строительные технологии; свайные работы; технологические операции; погружение сваи; функционально-стоимостной анализ; нежелательные эффекты

Для цитирования: Байбурин А.Х., Толкынбаев Т.А., Кочарин Н.В. Функционально-стоимостной анализ технологии забивных свай // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 46-57. doi:10.51608/26867818_2023_3_46.

Original article

FUNCTIONAL AND COST ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF DRIVEN PILES

© The Author(s) 2023

BAIBURIN Albert Khalitovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering

South Ural State University (National research university)

(Russia, Chelyabinsk, e-mail: abayburin@mail.ru)

TOLKYNBAYEV Temirkhan Anapiyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction

L.N. Gumilyov Eurasian National University

(Republic of Kazakhstan, Astana, e-mail: temtol1961@mail.ru)



KOCHARIN Nikolay Vitalievich
Senior Lecturer of the Department of Building
Technologies and Structural Engineering
South Ural State University (National research university)
(Russia, Chelyabinsk, e-mail: kocharinnv@susu.ru)

Abstract. The article examines the technological process of pile work in order to improve the technology using the methodologies of VA(VE) and TRIZ. The article shows the features of the implementation of the VA(VE) stages and functional-ideal modeling (folding), taking into account the specifics of construction technologies. The priorities for the winding down of operations have been determined following the structural and functional analysis and cost estimation. The undesirable outcomes of each operation are formulated. A chain of shortcomings of the existing technology has been compiled. After the FIM procedure, the technology of 3D positioning of a mobile installation with automatic movement control and pile immersion is proposed. The new technology makes it possible to eliminate the operations of splitting the pile field, pre-laying piles, and a number of other undesirable effects. At the same time, additional super effects appear, allowing the bridge installation to be converted into a universal construction manipulator for the construction of a zero cycle.

Keywords: construction technologies; pile work; technological operations; pile sinking; functional and cost analysis; undesirable effects

For citation: Baiburin A.Kh., Tolkybayev T.A., Kocharin N.V. Functional and cost analysis of the technology of driven piles // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 46-57. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_46.

Введение

Функционально-стоимостной анализ (ФСА) – метод системного исследования функций объекта (продукта, технологии) с целью поиска баланса между себестоимостью и полезностью. Начало методу положили наработки советского инженера Ю.М. Соболева (поэлементный экономический анализ, ПЭА) и американца Л.Д. Майлса (value analysis / value engineering, VA / VE). Термин «функционально-стоимостной анализ» введён в 1970 году Е.А. Грампом [1–3]. В США применяется термин value engineering analysis (VEA) – стоимостной инженерный анализ.

В 80-е годы в СССР практика ФСА получила большое развитие в различных отраслях промышленности [4–6]. При этом особое внимание обращалось на совершенствование технологических процессов [7–8]. В этот период вышли основательные труды по теории ФСА, разработаны фундаментальные принципы, проверены на практике многочисленные приемы и методы по снижению затрат и повышению качества продукции [2; 4–6]. Особую эффективность показало совместное применение ФСА и ТРИЗ [9], которое было обусловлено не только постановкой задач, но и их решением.

Первоначально ФСА появился на стыке техники и экономики, однако проекты индустриальных мировых лидеров, таких как Boeing, Samsung, Siemens, Procter & Gamble и других показывают, что система ФСА+ТРИЗ с успехом используется в любых областях, для совершенствования систем любой природы, где только возможно использование структурно-функциональных подходов [10–11]. Чаще всего ФСА используют для снижения издержек, устранения дефектов при производстве продукции [7; 12], совершенствовании организационных структур [3; 13–14]. В последние годы при анализе затрат

и дефектов производства используются нейронные сети [15].

Глубокая модернизация строительной отрасли требует системного совершенствования строительных технологий. Такой подход обеспечивает система ФСА+ТРИЗ, основы которой заложены Г.С. Альтшуллером, В.М. Герасимовым, С.С. Литвиным и другими разработчиками ТРИЗ.

Цель статьи – анализ и совершенствование технологического процесса из области строительства с применением методологии ФСА и ТРИЗ. Показаны особенности выполнения последовательных этапов ФСА с учетом специфики строительных технологий.

Методология

Методы производства свайных работ достаточно полно описаны в [16–17]. В данной работе использованы стандартные методы ФСА: компонентный анализ, построение структурной и функциональной моделей; анализ значимости функций рассматриваемой системы (технологических операций); формулирование нежелательных эффектов и анализ их причинно-следственных связей; анализ затрат на выполнение функций; построение матрицы «значимость функций – стоимость функций»; свертывание (функционально-идеальное моделирование) технологического процесса; анализ эффективности полученных решений.

Построение структурной модели

Процесс забивки железобетонной сваи в самом общем случае состоит из следующих операций (рис. 1):

1. разбивка свайного поля;
2. раскладка свай у мест забивки;



3. передвижение копра к месту погружения сваи;
4. подтаскивание, подъем и установка сваи на копер;
5. выверка положения сваи (в плане и по вертикали);
6. погружение (забивка) сваи;
7. измерения погружения (отказа) сваи в конце погружения;
8. «отдых» сваи при недостижении проектного отказа;
9. добивка сваи после «отдыха» с измерением отказа;
10. срубка головы сваи под проектную отметку.

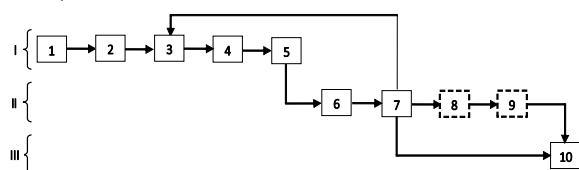


Рис. 1. Структурная модель технологии устройства забивных свай:

I – подготовительные работы; II – погружение свай;
III – срубка голов свай

На рис. 1 пунктиром показаны возможные дополнительные работы в виде «отдыха» и добивки сваи в случае, если не будет достигнут проектных отказ сваи. Переход 7-3 означает повтор операций для следующей погружаемой сваи, а переход 7-10 пропускает «отдых» и добивку, если проектный отказ сваи достигнут (обычный случай).

Построение функциональной модели

Используя правила формулирования функций, построим функциональную модель процесса забивки свай (табл. 1).

Операция добивки снова включает в себя передвижение копра, подъем, установку и выверку сваи, а также измерение погружения сваи. Поскольку «отдых» и добивка требуются не часто, в функциональной модели эти операции не раскрыты полностью.

При разработке функциональной модели процесса используют классификации операций и их функций, определяют ресурс функций. Разделим операции свайных работ по виду: С – создающие (в результате этих операций что-то производится); О – обеспечивающие операции (транспортирование, погрузка-разгрузка, хранение, заготовка, подача и т.д.); И – исправляющие (в результате устраняется нежелательный эффект, возникший на предыдущих операциях); К – контрольно-измерительные операции; Пр – простои, ожидания. Транспортные операции по доставке свай и сваебойного механизма учитывать не будем.

Таблица 1 - Функциональная модель процесса забивания свай

Операция	Вид	Функция (F)	Ранг	Уровень
1. Разбивка свайного поля	О	F1. Выполнить метки (в местах забивки свай)	ОФ	А
2. Раскладка свай у мест погружения	О	F2. Разложить сваи (у мест забивки)	ОФ	А
3. Передвижение копра к месту погружения сваи	О	F3. Переместить копер (к месту забивки)	ОФ	А(Н)
4. Подъем и установка сваи на копер	О	F4. Установить сваю (на копровую мачту)	ОФ	Н
5. Выверка сваи	И(К)	F5. Установить сваю точно	ВФ	А
6. Погружение сваи	С	F6. Забить сваю (до отказа)	ГФ	А(Н)
7. Измерение погружения сваи	К	F7. Измерить погружение (отказ) сваи	ОФ	А
8. «Отдых» сваи, показавшей ложный отказ	И (Пр)	F8. Сделать перерыв (на время «отдыха»)	ВФ	А
9. Добивка сваи после отдыха	И	F9. Добить сваю до отказа	ОФ	А(Н)
10. Срубка сваи под отметку	И	F10. Срубить сваю (под проектную отметку)	ОФ	А

К исправляющим операциям (И) относятся операция выверки сваи (исправляются недостатки точности установки сваи на копер), «отдыха» и добивки (исправляются недостатки основной забивки, когда проектный отказ не достигается), а также операция срубки сваи под проектную отметку (исправляется недостаток погружения свай не до проектной глубины). Выверку сваи в плане и по вертикали также можно отнести к контрольной операции.

Функции операций классифицируем по рангам: ГФ – главная (главное назначение технологического процесса); ОФ – основная (основные функции обеспечивают выполнение главной функции); ВФ – вспомогательная (обеспечивает выполнение основной функции); НФ – ненужная (иногда ненужная функция может оказаться даже вредной). К второстепенным функциям отнесены выверка сваи на копровой мачте, поскольку при этом устраняется недостаток основной операции подъема на копер, а также операция «отдыха», так как ожидание необходимо для основной операции добивки сваи.

Ресурсом функции называют уровень ее выполнения. Ресурс функции может быть адекватным (А); избыточным (И) или недостаточным (Н). Недостаточный уровень выполнения характерен для опе-



рации установки сваи на копровую мачту, так как установка неточная и требует дальнейшей выверки сваи в плане и по вертикали. Недостаточный уровень может быть у операции передвижения копра, когда грунт котлована будет переувлажнен и передвижение копра (особенно на базе автомобиля) будет затруднен. При забивке возможен недостаточный уровень, когда свая не достигает проектного отказа (иногда и после повторной забивки после «отдыха»). Недостаточный уровень может означать и случай, когда не достигается проектная глубина погружения, но отказ обеспечен. Остальные функции характеризуются адекватным (А) уровнем выполнения.

Анализ взаимосвязей системы

Для определения связей необходимо определить элементы надсистемы. Первоначально это: грунт (I), подземные воды, препятствия в грунте (II – большие камни, старые подземные постройки и пр.) и ростверк (III). Но при анализе было установлено, что подземные воды не влияют на технологию и этот элемент был исключен из надсистемы. Основные взаимосвязи между компонентами системы и надсистемы приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Матрица взаимосвязей между компонентами системы и надсистемы

	Компоненты системы										Надсистема		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I	II	III
1	0	C1	C2										
2		0	C3	C4							C14		
3			0						C10				
4				0	C5								
5					0	C6							
6						0	C7			C12		C15	
7							0	C8	C9				
8								0			C16		
9									C11	0	C13	C17	
10										0			C18

C1 – разбивка определяет места раскладки свай.

C2 – разбивка предопределяет путь перемещения копра.

C3 – раскладка свай мешает движению копра.

C4 – раскладка свай у мест забивки ускоряет подтаскивание и подъем свай на копер.

C5 – неточное положение сваи при после подъема на копер требует выверки сваи в плане и по вертикали.

C6 – неточная выверка сваи нарушает правильное ее погружение.

C7 – погружение сваи требует измерения отказа сваи.

C8 – измерение отказа показывает необходимость «отдыха» сваи.

C9 – измерение отказа показывает необходимость добивки сваи.

C10 – при добивке сваи требуется повторное передвижение копра.

C11 – при добивке сваи требуется повторное измерение отказа.

C12 – недостаточное погружение сваи требует срубki головы сваи.

C13 – недостаточное погружение при добивке требует срубki головы.

C14 – грунт затрудняет передвижение копровой установки.

C15 – препятствия в грунте затрудняют погружение сваи.

C16 – переуплотнение или тиксотропное разжижение грунта приводит к ложному отказу и необходимости «отдыха» сваи.

C17 – переуплотнение или тиксотропное разжижение грунта приводит к ложному отказу и необходимости добивки сваи.

C18 – ростверк требует срубki голов сваи.

Перечисленные связи выявляют основные закономерности технологии. Связи C3, C5, C6, C12–C17 являются вредными, мешающими выполнению главной функции технологии забивки свай.

Анализ значимости функций

Для определения значимости функций используем метод парных сравнений (плюс означает приоритет операции, минус – наоборот). Матрица значимости функций операций с учетом рангов функций операций приведена в табл. 3.

Таблица 3 - Матрица значимости функций операций опалубочных работ

Функция операций	Функции операций										Σ+	V _i , %	P _i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1. Разбивка свай	0	±	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	1,11	9
2. Раскладка свай	±	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	1,11	10
3. Переезд копра	+	+	0	+	+	-	+	+	-	-	6	13,33	4
4. Установка сваи	+	+	-	0	+	-	+	+	-	-	5	11,11	5
5. Выверка сваи	+	+	-	-	0	-	-	+	-	-	3	6,67	7
6. Забивка сваи	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	9	20,00	1
7. Контроль отказа	+	+	-	-	+	-	0	+	-	-	4	8,89	6
8. «Отдых» сваи	+	+	-	-	-	-	-	0	-	-	2	4,44	8
9. Добивка сваи	+	+	+	+	+	-	+	+	0	+	8	17,78	2
10. Срубka головы	+	+	+	+	+	-	+	+	-	0	7	15,56	3
Σ-	0,5	0,5	6	5	3	9	4	2	8	7	45	100	



Главной функцией процесса погружения свай является непосредственная забивка сваи (приоритет 1) и добивка (приоритет 2) при необходимости «отдыха». Разбивка свайного поля и предварительная раскладка свай имеют минимальную значимость.

После построения функциональной модели переходим к анализу недостатков или нежелательных эффектов (НЭ) каждой операции. После этого этапа необходимо выявить ключевые НЭ, анализируя причинно-следственные связи и цепочки НЭ.

*Нежелательные эффекты операций
сваебойных работ*

F1. Разбивка свайного поля: НЭ1.1 – требуется ручной труд, большие трудозатраты; НЭ1.2 – требуются точные средства измерений.

F2. Раскладка свай у мест погружения: НЭ2.1 – затрудненность движения транспорта и крана по грунту; НЭ2.2 – возможное повреждение знаков разбивки свайного поля.

F3. Передвижение копра к месту забивки: НЭ3.1 – затрудненность движения копра по грунту; НЭ3.2 – возможное повреждение знаков разбивки свайного поля.

F4. Строповка, подтягивание и установка сваи на копре над местом забивки: НЭ4.1 – требуется ручной труд (строповка), большие трудозатраты; НЭ4.2 – требуется грузоподъемный механизм (на копре); НЭ4.3 – недостаточная точность установки сваи над местом забивки.

F5. Выверка установки сваи (в плане и по вертикали): НЭ5.1 – требуется ручной труд, большие трудозатраты; НЭ5.2 – требуются точные средства измерений; НЭ5.3 – теряется много времени на точную установку сваи.

F6. Забивка сваи: НЭ6.1 – встреча препятствия, отклонение сваи от вертикального положения; НЭ6.2 – разбивка головы сваи от удара молота; НЭ6.3 – поломка сваи, резкое увеличение осадки сваи (устраняется забивкой сваи-дубля); НЭ6.4 – продольные трещины в стволе или голове сваи (причины: разрушение амортизатора, препятствие в грунте, большая энергия удара); НЭ6.5 – поперечные или наклонные трещины в стволе или голове сваи (причины: изгиб сваи, изменение положения копровой стрелы); НЭ6.6 – превышение отказа (устраняется контрольной добивкой после «отдыха» или испытаниями на несущую способность); НЭ6.7 – ложный отказ (недостаточная масса молота; уплотнение грунта под острием сваи, отжим воды с боков и «сухое» боковое трение; устраняется «отдыхом» сваи); НЭ6.8 – отсутствие отказа (засасывание сваи при разжижении грунта под острием сваи, устраняется «отдыхом» и уменьшением частоты ударов); НЭ6.9 – повреждения существующих объектов при забивке свай вблизи (динамические нагрузки, движение

грунта и воды); НЭ6.10 – трудности стыковки длинных составных, наращиваемых свай (необходимость контрольного стыкования перед забивкой); НЭ6.11 – сильный вредный шум и вибрация.

F7. Измерение погружения (отказа) сваи: НЭ7.1 – требуется ручной труд, большие трудозатраты; НЭ7.2 – требуются точные средства измерений (точность 1 мм).

F8. «Отдых» свай, показавших ложный отказ: НЭ8.1 – потеря времени (от нескольких суток до 20 дней); НЭ8.2 – затрудненность переезда копра из-за забитых свай.

F9. Добивка сваи после «отдыха»: НЭ9.1 – возможны повреждения оголовка сваи от удара молота; НЭ9.2 – потеря времени.

F10. Срубка сваи под проектную отметку: НЭ10.1 – требуется механизация, большие трудозатраты; НЭ10.2 – возможна неточная срубка свай; НЭ10.3 – возможны повреждения торцов свай и арматуры выпусков; НЭ10.4 – образуются отходы, которые нужно утилизировать.

Итого технология имеет 33 нежелательных эффекта. Для их устранения рекомендуется сформулировать технические противоречия.

Анализ причинно-следственных связей

Причинно-следственная цепочка НЭ позволяет выявить узловые и ключевые НЭ, а так же выявить НЭ, которые не были определены при проведенном анализе технологических операций. При построении причинно-следственных связей (ПСС) выявлено несколько цепочек ПСС (рис. 2).

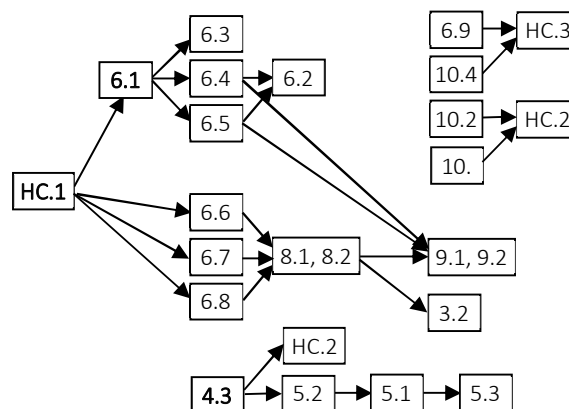


Рис. 2. Причинно-следственные связи нежелательных эффектов: полужирным выделены ключевые НЭ

Результатом построения ПСС должно быть уточнение и корректировка выявленных НЭ. Например, НЭ 7.1 и 7.2 неизбежны для контроля свай и связаны с тем, что геологическое строение площадки всегда неоднородно, поэтому нельзя судить о всех сваях по результатам испытания пробных свай. Можно в модель ПСС ввести новый НЭ и дополнить модель.



В приведенной модели такие дополнительные нежелательные эффекты связаны с надсистемой указаны как НС.1, НС.2 и НС.3. Нежелательный эффект НС.1 связан с невозможностью получения полной, детальной информации о геологическом строении площадки в результате инженерно-геологических изысканий и контрольных испытаний пробных свай. Это иногда приводит к проблемам при забивке свай, отмеченных нами как нежелательные эффекты НЭ6.1–6.8.

Нежелательные эффекты срубки свай НЭ10.2 и НЭ10.3 и точности ее расположения приводят к проблемам в надсистеме самой конструкции фундамента, обозначенные как НС.2, а нежелательные эффекты НЭ10.4 и НЭ4.9 влияют на надсистему строительной площадки НС.3.

Ключевые НЭ, которые нужно исключить в первую очередь: НЭ4.3 – недостаточная точность установки сваи над местом забивки; НЭ6.1 – встреча препятствия, отклонение сваи от вертикального положения.

Анализ стоимости и трудоемкости операций

В ЕНиР Е12-28 и нормы 05-01-001-03 ГЭСН 81-02-05-2020 «Свайные работы» имеются следующие данные по стоимости и трудоемкости свайных работ, которые можно использовать для оценки затрат на выполнение функций. К сожалению, нормативы, указанные в ЕНиР и ГЭСН, укрупненные и зависят от большого количества факторов. На основании анализа норм и технической литературы можно оценить удельные трудозатраты на операции, указанные в табл. 1. Стоимостные затраты примем пропорциональными трудозатратам. Кроме того, будем дополнительно учитывать удельное количество нежелательных эффектов, которое характеризует степень проблемной значимости каждой операции (табл. 4).

Таблица 4 - Трудозатраты операций и их проблемная значимость в %

Операция (функция)	Трудозатраты	Проблемная значимость	Принятое значение
1. Разбивка свайного поля	3-5	6,1	5
2. Раскладка свай у мест забивки	6-10	6,1	10
3. Передвижение копра	5-7	6,1	7
4. Подъем, установка сваи на копер	7-10	9,1	8
5. Выверка сваи	5-10	9,1	10
6. Погружение сваи	13-25	33,2	30
7. Измерение погружения сваи	4-7	6,1	5
8. «Отдых» сваи при ложном отказе	0	6,1	0
9. Добивка сваи после отдыха	7-13	6,1	15
10. Срубка головы сваи под отметку	11-20	12,0	10

Здесь проблемная значимость рассчитывалась как отношение количества нежелательных эффектов на данной операции к общему числу НЭ на всех операциях. Данные таблицы позволяют установить, что наиболее предпочтительными для свертывания являются операции: добивка сваи после «отдыха» и срубка головы сваи.

В случае свертывания технологического процесса, осуществляемого конкретной строительной организацией, трудоемкость и стоимость выполнения каждой операции (функции) находят по проектно-сметной документации. Полезно получить эти данные до выполнения свертывания с целью ориентации на свертывание наиболее трудоемких и затратных операций.

Матрица «значимость функций – стоимость функций»

Для обоснования операций свертки составим матрицу «качества исполнения функций», в которой сравним полученные данные о значимости функций и затратах на их реализацию. Затраты оценим по трудоемкости выполнения функций и проблемной оценке через нежелательные эффекты. Матрица «значимость функций – стоимость функций» приведена в табл. 5 и представлена в графическом виде на рис. 3.

В таблице трудоемкость функции F8 «отдых» сваи условно приравнена к трудоемкости повторной забивки сваи (обозначена «*»), т.к. эти операции неотделимы друг от друга.

Свертыванию подлежат, прежде всего, второстепенные функции F8 «отдыха» сваи, F5 выверки положения сваи, а также основные функции F2 раскладки свай и F1 разбивки свайного поля. Главную функцию F6 погружения сваи нельзя сворачивать, несмотря на дисбаланс затрат на указанную операцию.

Свертывание технологического процесса

При свертывании (функционально-идеальном моделировании) технологического процесса ставят целью ликвидировать операции, являющиеся носителями ненужных и вспомогательных, а по возможности и основных функций. При этом вспомогательные функции свернутых операций переводят в ненужные, то есть исключают, а основные – передают другим носителям. Таким образом, свертыванию подлежат вспомогательные операции выверки сваи, «отдыха» и добивки сваи, при возможности и основные операции разбивки свайного поля и раскладки свай у мест укладки.

Для каждой операции возможность свертывания формулируют в виде требования: операцию можно не выполнять, если возможно ее осуществление: а) за счет предшествующих операций, включая поставку материалов; б) за счет последующих опера-



ций; в) при изменении технологии отпадает необхо-

Таблица 5 - Матрица «значимость функций – стоимость функций»

Характеристики функций и затрат	Функция F операции свайных работ									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Значимость функции F, %	1,11	1,11	13,70	11,11	6,67	20,00	8,89	4,44	17,78	15,56
Приоритет функции F	9	10	4	5	7	1	6	8	2	3
Ранг функции (см. табл. 5.1)	ОФ	ОФ	ОФ	ОФ	ВФ	ГФ	ОФ	ВФ	ОФ	ОФ
Трудоёмкость функции, %	5	10	7	8	10	30	5	0(15)*	15	10
Количество НЭ	2	2	2	3	3	11	2	2	2	4
Проблемная значимость, %	6,1	6,1	6,1	9,1	9,1	33,2	6,1	6,1	6,1	12,0
Приоритет затрат	8	5	7	6	4	1	9	10	2	3
Превышение затрат	3,9	8,9	-	-	3,3	10,0	-	11,6*	-	-
Приоритет свертки	4	3	-	-	2	-	-	1	-	-

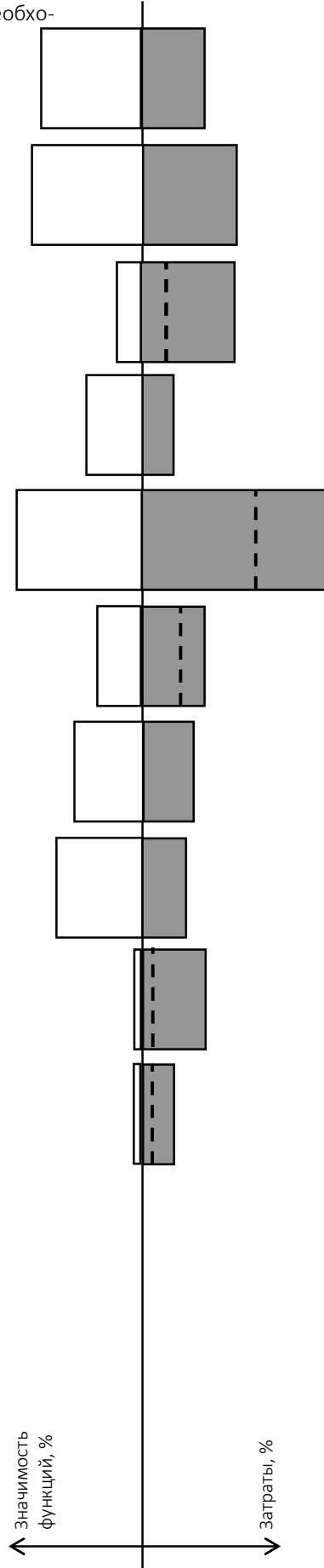


Рис. 3. Диаграмма соотношения значимости функций и затрат на их выполнение



димось в этой операции. Выбор варианта свертывания определяется рядом факторов. Во-первых, необходимо обеспечить наивысшую производительность основного процесса, то есть наилучшее выполнение главной функции – забивки свай. Во-вторых, необходимо отказываться от вариантов свертывания, связанных с исправлением недостатков, возникающих на предыдущих операциях. Операции, направленные на устранение таких недостатков, всегда являются носителями вспомогательных функций и подлежат свертыванию в обязательном порядке. Лучше предотвратить недостаток, чем его потом устранять.

В-третьих, следует выбирать варианты свертывания на предшествующих операциях, что позволяет устранить больше нежелательных эффектов. И, в-четвертых, нужно учитывать внешние ограничения на изменение конструкции или технологии, определяемые проектом, нормами и техническими условиями.

Исправительную операцию F5 «выверки сваи» после ее установки на копер можно не выполнять, если:

А) устранить из технологического процесса операцию, на которой возникает объект исправительной функции, то есть если не нужно будет устанавливать сваю на копровую мачту;

Б) изменить операцию, на которой возникает объект исправительной функции так, чтобы он перестал возникать – установка сваи на копровую мачту сразу производится точно и ее не нужно выверять, т.е. копровая мачта установлена точно над местом забивки и строго вертикально;

В) устранить необходимость в изменении соответствующих параметров объекта исправительной функции – допустимо погружать сваю без выверки (например, имеется точно выверенная лидерная скважина);

Г) исправительная операция будет выполнена на предыдущей операции – F4 «установка сваи на копер», причем свая устанавливается точно над местом забивки, а выверка ее вертикальности обеспечивается положением копровой мачты;

Д) исправительная функция будет выполнена на последующей операции – F6 «погружение сваи»;

Е) исправительная функция будет выполнена на новой операции.

Выбираем вариант Г – мостовой копер с 3D позиционированием и автоматической выверкой. Варианты В и Д возможны, если выполнить достаточно глубокие лидерные скважины, которые будут строго выверены в плане и по вертикали. Тогда при забивке сваи она вынуждено будет погружаться вертикально в проектное местоположение. Такие лидерные скважины выполняют обычно в мерзлом или плотном грунте.

Контрольно-измерительную операцию F7 «измерение погружения (отказа) сваи» можно не выполнять, если:

А) устранить из системы объект контрольно-измерительной операции – сваю, что невозможно;

Б) устранить из технологического процесса операции, для которых выполняется данная функция;

В) устранить необходимость в контроле и измерении соответствующих параметров объекта контрольно-измерительной функции, т.е. так изменить обеспечиваемые ею операции, чтобы они перестали нуждаться в выполнении этой функции – например, увеличенный объем испытаний пробных свай и однородное напластование грунтов позволяет погружать сваи без замера отказа;

Г) контрольно-измерительная функция будет выполнена на предыдущей операции – F6 «погружение сваи», то есть при забивке сваи отказ будет контролироваться автоматически аппаратурой сваебойной установки;

Д) контрольно-измерительная функция будет выполнена на последующей операции, то есть после «отдыха» сваи и добивки;

Е) контрольно-измерительная функция будет выполнена на новой операции – будет предусмотрена операция испытания выборочных свай.

Операции «отдыха» и добивки сваи можно устранить только в случае, если сваи сразу будут погружены до проектного отказа, или если испытания свай, которые не показали проектный отказ, подтвердят их несущую способность. При относительно однородных грунтовых условиях, правильно выполненных пробных испытаниях и обоснованном выборе сваебойного оборудования все сваи могут показать расчетный отказ и их добивки после «отдыха» не потребуются.

Обеспечивающую операцию F1 разбивки свайного поля можно не выполнять, если:

А) устранить из системы объект обеспечивающей операции;

Б) устранить из технологического процесса операции, для обеспечения которых выполняется данная функция;

В) устранить необходимость в изменении соответствующих параметров объекта обеспечивающей функции, т.е. так изменить обеспечиваемые ею операции, чтобы они перестали нуждаться в выполнении этой функции;

Г) обеспечивающая функция будет выполнена на предыдущих операциях – при выборе сваебойного оборудования будет выбран порталный копер с 3D позиционированием, который начинает забивку сваи в месте, определяемом цифровой моделью, запрограммированной в движении копра;



Д) обеспечивающая функция будет выполнена на последующих операциях – забивка сваи производится по цифровой карте, программирующей движение копра;

Е) обеспечивающая функция будет выполнена на новой операции – места забивки обусловлены расположением лидирующих скважин.

Обеспечивающую операцию F2 раскладки свай можно не выполнять, если:

А) устранить из системы объект обеспечивающей операции;

Б) устранить из технологического процесса операции, для обеспечения которых выполняется данная функция;

В) устранить необходимость в изменении соответствующих параметров объекта обеспечивающей функции, т.е. так изменить обеспечиваемые ею операции, чтобы они перестали нуждаться в выполнении этой функции – например, копер возит с собой запас свай (сверхэффект – масса возимых свай может использоваться как пригруз для вдавливания свай);

Г) обеспечивающая функция будет выполнена на предыдущих операциях – при выборе сваебойного оборудования будет выбран порталный копер, который перемещается к площадке складирования свай на бровке котлована и устанавливает очередную сваю на копровую мачту, а затем перемещается к месту забивки;

Д) обеспечивающая функция будет выполнена на последующих операциях;

Е) обеспечивающая функция будет выполнена на новой операции – складирование свай на бровке котлована с возможностью подачи на порталный копер (при условии, что пути движения копра заходят в зону складирования свай).

Анализ решений функционально-идеального моделирования

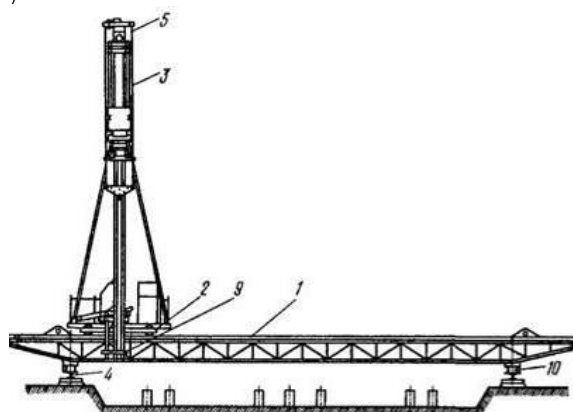
При устройстве свайных фундаментов зданий большой протяженности рационально применять мостовую сваебойную установку, представляющую собой передвижной мост, по которому перемещается тележка с копром. Достоинством мостовой сваебойной установки является возможность точной установки свай в месте забивки. Предварительная раскладка свай в зоне работ значительно сокращает операции подтаскивания и закрепления сваи на копре, что значительно повышает производительность и качество работ. Однако возможно и локальное хранение штабелей свай на бровке котлована, но в зоне действия мостового копра.

В этом случае рационально использовать автоматическое 3D-управление сваебойной установкой. Для этого установка оснащается различными датчиками, которые отвечают за движение механизма (моста, копровой мачты, молота и т.д.). Коор-

динаты каждой сваи записывают на запоминающее устройство в виде цифровой карты свайного поля и далее, не затрачивая время на разбивку расположения каждой сваи, установка может начинать работать. С помощью датчиков можно следить за погружением, вертикальностью сваи, количеством ударов, не используя дополнительного геодезического и измерительного оборудования. Это также позволит выполнить динамические испытания пробных свай. Получится своеобразный 3D строительный принтер порталного типа, только не для печати, а для забивки свай (рис. 4).

По цифровой модели с GPS-позиционированием определяются места забивки свай. В случае отказа спутникового позиционирования оптическая система копровой установки или сам машинист выполнит ориентирование на разбивочную ось, а датчик движения копровой мачты отчитает необходимое расстояние до сваи. Машина может ориентироваться и по струнному копиру, как в дорожном строительстве. Аппаратура копра считает удары и измеряет погружение сваи в автоматическом режиме. Возможна навеска оборудования для устройства лидерных скважин в мерзлом грунте и срубке голов свай.

а)



б)



Рис. 4. Мостовая копровая установка (а) и 3D-принтер строительный (б):

1 – мост (ходовая рама); 2 – тележка с мачтой и молотом; 3 – дизель-молот; 4 – рельсовый путь; 5 – копровая мачта



Поскольку мостовая сваебойная установка с цифровым 3D управлением – это сложный и дорогой механизм, то желательное использование его моста на весь цикл строительства или, по крайней мере, на этапе возведения нулевого цикла. Для этого копровая установка снимается с моста, а на его тележку устанавливается монтажный кран, манипулятор для подачи бетонной смеси, строительный 3D принтер или другой механизм, которые продолжают строительство сооружения. Получается универсальный строительный комбайн со сменным оборудованием: ковш для разработки котлована; трубчатый лидер для устройства лидерных скважин; кран для разгрузки и складирования свай; копер для забивки свай; гидравлические ножницы для срезки голов свай; бетоноукладчик для устройства ростверка; монтажный кран для возведения сооружения; строительный 3D-принтер для возведения стен подвала.

Мостовая установка движется над котлованом, поэтому операция предварительной раскладки свай у места забивки может быть исключена. Копер берет сваи на складе у бровки котлована. Кроме того, он может работать как кран, разгружать, складировать или предварительно раскладывать сваи по свайному полю. Если на копер установить георадар, то появляется возможность обследовать всю площадь свайного поля перед забивкой с обнаружением локальных аномалий (валуны, карст, подземные сооружения), что позволит избежать проблем при погружении свай (нежелательные эффекты операции забивки F6).

При использовании мостового копра с автоматическим позиционированием ликвидируются операция F1 «переезд копра к месту забивки» (по дну котлована) и связанные с ней нежелательные эффекты НЭ1.1 и НЭ1.2, операция F2 «раскладка свай у мест погружения» и НЭ2.1, НЭ2.2, а также операция F5 «выверка установки свай» (происходит автоматически) и нежелательные эффекты НЭ5.1–НЭ5.3. Кроме того, исключается НЭ8.2 – затруднение при проезде копра к свае после ее «отдыха». Появляются новые операции: установка рельсового пути под мостовую сваебойную установку; установка оборудования для автоматического позиционирования копра и свай. Последнюю операцию можно не учитывать, так как она относится к технической надсистеме копра, а не к технологии, но появляется операция программирования копра для его точного движения.

Также исключаются операция F7 «измерение погружения свай» и связанные с ней НЭ7.1 и НЭ7.2, так как она проводится автоматически. Более того, результаты измерений можно сразу сохранить в электронном файле, и уже не потребуются вызывать геодезиста для выполнения съемки положения свай. Данные о погружении свай могут быть транспонированы в электронный журнал свайных работ.

Возникают новые нежелательные эффекты: большие трудозатраты на установку рельс, увеличение стоимости копра, повышенные требования к квалификации персонала. Положительными эффектами способа 3D управления мостовой сваебойной установкой являются: высокая производительность, автоматизация позиционирования и высокая точность забивки свай, практически исключен человеческий фактор.

При навеске оборудования для срубки свай под проектную отметку с автоматическим наведением ликвидируется также НЭ10.2 и НЭ10.3.

Чтобы исключить НЭ6.2–НЭ6.5, НЭ6.7–НЭ6.9 и НЭ6.11 можно вместо забивки свай использовать процесс вдавливания свай. Вдавливание позволяет снизить энергоёмкость погружения свай, поскольку техника использует не горюче-смазочные материалы, а электричество. Значительно снижаются динамические нагрузки на близлежащие сооружения. Это также выгодно в экологическом плане, так как вдавливание производится без загрязнения продуктами сгорания окружающей среды, а также без вредных шумов и вибрации.

Все эти преимущества можно отметить, как положительные эффекты вдавливания, которые появляются при замене способа погружения свай. Но появляется и новые НЭ – низкая производительность, громоздкость и большой вес оборудования, что снижает маневренность и повышает энергозатраты на передвижение. В случае применения вместо пригруза анкеров, появляется дополнительная операция по их устройству.

Новая структурная схема технологии представлена на рис. 5.

В отличие от первоначальной технологии (см. рис. 5.1) новая технология включает не 10, а всего 8 операций:

- 1'. устройство путей для мостовой копровой установки;
- 2'. складирование свай на бровке котлована;
3. передвижение копра на склад за сваей и (после установки свай на копер) к месту погружения свай;
- 4'. установка свай на копер с одновременной выверкой по вертикали;
- 6'. погружение (забивка) свай с автоматическим контролем отказа;
8. «отдых» свай при недостижении проектного отказа;
9. добивка свай после «отдыха» с измерением отказа;
10. срубка головы свай под проектную отметку.

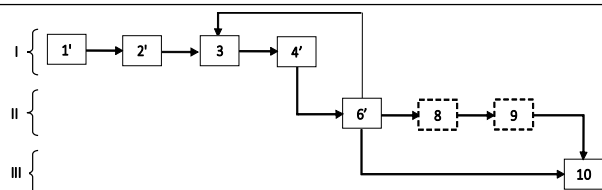


Рис. 5. Функционально-идеальная модель технологии погружения свай:

I – подготовительные работы; II – погружение свай;
III – срубка голов свай

Сверхэффекты усовершенствованного процесса

Положительные сверхэффекты применения мостовой сваебойной установки с автоматическим 3D позиционированием:

СЭ1 – движение копровой установки не ограничено состоянием грунта, разложенными у мест забивки или уже погруженными сваями;

СЭ2 – сваи могут складироваться в любом месте в пределах пути мостового копра, как у мест забивки, так и на бровке котлована;

СЭ3 – автоматическое 3D позиционирование копра по цифровой карте исключает операцию разбивки свайного поля;

СЭ4 – мостовая копровая установка может предусматривать сменные рабочие органы: буровая установка для устройства лидерных скважин в мерзлом грунте; землеройные рабочие органы; различные типы молотов; установка для вдавливания свай (при условии заанкеривания копра, например, завинчиваемыми сваями) гидравлические ножницы для срубки голов свай; бетоноукладчик для устройства ростверка; монтажный манипулятор-кран; строительный 3D-принтер для возведения стен подвала; оборудование для динамических или статических испытаний свай;

СЭ5 – имеется возможность установки на мосте (портальной раме) сразу нескольких рабочих органов;

СЭ6 – при необходимости «отдыха» и добивки сваи не нужно оставлять место для передвижения копра к этой свае;

Однако имеются и отрицательные сверхэффекты усовершенствованной технологии:

СЭ7 – требуется устройство рельсовых путей для движения мостовой копровой установки; расположение путей у откосов котлована требует мероприятий по сохранению устойчивости откосов;

СЭ8 – при большой ширине свайного поля мост копровой установки становится металлоемким, что может быть экономически оправдано использованием установки для последующих работ по монтажу нулевого цикла здания; возможна также разбивка свайного поля на захватки.

Анализ эффективности свертывания

Для оценки эффективности свертывания предложены показатели:

Коэффициент свертывания:

$$K_{св} = \frac{F}{F - F_l + F_d},$$

где F – количество функций до свертывания; F_l – количество ликвидированных функций; F_d – количество функций, появившихся в результате свертывания.

Рейтинг свертывания:

$$P_{св} = 0,7(F_l - F_d) + 0,3(NЭ_l - NЭ_d + ПЭ),$$

где $NЭ_l$ – количество ликвидированных нежелательных эффектов; $NЭ_d$ – количество нежелательных эффектов, появившихся в результате свертывания; $ПЭ$ – количество положительных эффектов.

Результаты свертывания представлены в таблице (табл. 6).

Таблица 6 - Результаты свертывания технологии свайных работ

Технология погружения свай	Ликвидируются		Появляются		
	F_l	$NЭ_l$	F_d	$NЭ_d$	$ПЭ$
3D-управление мостовой сваебойной установкой	3	11	1	3	6
Устройство свай путем вдавливания	0	8	0	2	3
3D-управление сваебойной установкой + вдавливание свай	3	19	1	5	9

По данным табл. 6 можно рассчитать показатели эффективности свертывания процесса сваебойных работ (табл. 7).

Таблица 7 - Результаты оценки эффективности свертывания

Технология погружения свай	Коэффициент свертывания	Рейтинг свертывания
Мостовой копер с 3D-управлением	1,25	5,6
Устройство свай путем вдавливания	1,00	2,7
Мостовой копер с 3D-управлением + устройство свай путем вдавливания	1,25	6,5

Выводы

Применение методологии ФСА и функционально-идеального моделирования (свертывания)



свайных работ позволило предложить пути совершенствования технологии. Показаны особенности выполнения последовательных этапов ФСА с учетом специфики строительных технологий. Предложенные варианты технологии подходят для объектов, где требуется точная забивка свай для фундамента большой площади (например, крупные заводы, протяженные сооружения, уникальные здания и инженерные сооружения).

Предложенные решения позволяют превратить мостовую копровую установку в универсальный строительный манипулятор для возведения нулевого цикла. Согласно законам развития технических систем предложенная технология отвечает тенденциям прогресса техники и технологии, выражаемых законами вытеснения человека с уровня управления, повышения идеальности и S-образной кривой развития систем с повышением функциональных показателей в виде производительности, надежности, качества и пр.

Библиографический список

1. Грамп Е.А. Функционально-стоимостной анализ и его использование в промышленности зарубежных стран. – М.: Информэлектро, 1971. 37 с.
2. Велленройтер Х. Функционально-стоимостной анализ в рационализации производства. – М.: Экономика, 1984. 110 с.
3. Функционально-стоимостной анализ: учеб. пособие / А.Х. Байбурун, Н.В. Кочарин, Ю.Ф. Прохоров и др. – Челябинск: Полиграф-Центр, 2019. 141 с.
4. Моисеева Н.К. Функционально-стоимостной анализ в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1987. 318 с.
5. Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности / Под. ред. М.Г. Карпунина. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 288 с.
6. Мисаков В.С. Функционально-стоимостной анализ в строительстве. – М.: Финансы и статистика, 1986. 114 с.

7. Герасимов О.М., Домкин К.И., Северинец Г.А. Особенности проведения функционально-стоимостного анализа технологических процессов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2021. Т. 2. С. 331–333.

8. Функционально-стоимостной анализ технологических процессов при производстве дорожных работ: методические указания / сост.: Т.В. Боброва, А.Б. Цырульникова. – Омск: СибАДИ, 2014. 42 с.

9. Альтшуллер Г.С. Найти идею: Введение в теорию решения изобретательских задач. – Новосибирск: Наука, 1991. 224 с.

10. Пчельникова-Гротова О.Н. Повышение качества продукции на основе системы функционально-стоимостного анализа // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1 (41). С. 5–12.

11. Тимофеева К.А., Борисова Е.В. Функционально-стоимостной анализ: проблемы и перспективы // Теория и практика современной аграрной науки. Сборник V национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2022. С. 1705–1708.

12. Разумова А.А. Функционально-стоимостной анализ свай железобетонных, изготавливаемых на предприятиях Пензенской области // Ceteris Paribus. 2022. № 1. С. 36–41.

13. Бузов П.А., Жихарев А.Г., Маторин С.И. Функционально-стоимостной анализ для системы менеджмента качества // Научный результат. Информационные технологии. 2022. Т. 7. № 2. С. 35–41.

14. Fedonin O. N., Simkin A. Z., Mozhaeva T. P. and Proskurin A. S. Monitoring of parameters of functional and cost analysis of personnel processes of the enterprise quality management system // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 919 (2020) 042003.

15. Kim J. and Lee J.Y. Development of a cost analysis-based defect-prediction system with a type error-weighted deep neural network algorithm // Journal of Computational Design and Engineering, 2022, 9(2), 380–392.

16. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. 264 с.

17. Верстов В.В., Гайдо А.Н., Иванов Я.В. Производство шпунтовых и свайных работ. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. 292 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 06.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 06.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья
УДК 691.3; 691.54
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_3_58

РЕАКЦИОННОСПОСОБНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КАК ФАКТОРЫ РЕЦЕПТУРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

© Авторы 2023
SPIN: 3977-7572
AuthorID: 813269
ORCID: 0000-0001-9087-1608
ScopusID: 57190170885
ResearcherID: AAF-4208-2020

SPIN: 3081-4059
AuthorID: 27869
ORCID: 0000-0002-3413-247X
ScopusID: 7801669853
ResearcherID: AAE-1757-2019

SPIN: 9192-6495
AuthorID: 1119346
ORCID: 0000-0003-2018-4487
ScopusID: 25935452200
ResearcherID: ADG-0784-2022

БАЛЫКОВ Артемий Сергеевич
кандидат технических наук
старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: artbalrun@yandex.ru)

КЯШКИН Владимир Михайлович
кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры физического материаловедения
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: kyashkin@mail.ru)

ВОЛОДИН Сергей Валерьевич
студент
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: svolodin12@gmail.com)

Аннотация. Актуальным направлением повышения эффективности титаноксидных фотокатализаторов для цементных систем является разработка композиционных модификаторов со структурой «ядро – оболочка» путем осаждения TiO₂ на минеральные подложки (дисперсные носители). Зарубежный и отечественный опыт получения подобного рода композиционных модификаторов показывает первостепенное влияние типа носителя фотокаталитического агента на конечные параметры синтезируемого материала. Стоит отметить, что для качественной оценки эффективности подложки необходимо иметь данные о составе, параметрах структуры и физико-химических свойствах применяемого минерального сырья, в том числе и его активности в цементных системах. Цель данного исследования – установить закономерности влияния состава и параметров структуры 4 минеральных модификаторов на их активность в цементном материале (мелкозернистом бетоне) с выявлением наиболее перспективного сырья для дисперсных носителей фотокаталитических агентов в композициях «ядро – оболочка». Результаты исследования показали, что увеличение удельной поверхности и содержания SiO₂ в составе наряду со снижением степени кристалличности структуры способствуют повышению реакционной способности модификатора. Установлено, что наибольшей эффективностью в цементных системах обладают кремниевая и алюмосиликатная минеральные добавки – микрокремнезем и метакаолин. При этом выявленные физико-химические особенности указанных модификаторов (высокая дисперсность частиц, преобладание в структуре активных форм кремнезема и глинозема и, как следствие, повышенная активность) свидетельствуют о перспективности их использования в рецептуре самоочищающихся цементных материалов в качестве минеральной подложки для фотокатализаторов.

Ключевые слова: фотокаталитическая система «ядро – оболочка»; диоксид титана; подложка фотокатализатора; самоочищающийся цементный материал; минеральная добавка; удельная поверхность; фазовый состав; степень кристалличности; реакционная способность; индекс активности

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам на 2022–2024 гг., проект № СП-1000.2022.1.

Для цитирования: Балыков А.С., Кяшкин В.М., Володин С.В. Реакционная способность и особенности строения как факторы рецептурной эффективности минеральных добавок в фотокаталитических цементных материалах // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 58-63. doi:10.51608/26867818_2023_3_58.



Original article

REACTIVITY AND STRUCTURAL FEATURES AS FACTORS OF PRESCRIPTION EFFECTIVENESS OF MINERAL ADDITIVES IN PHOTOCATALYTIC CEMENT MATERIALS

© The Author(s) 2023

BALYKOV Artemy Sergeevich

Candidate of Technical Sciences

Senior Researcher at the Research Laboratory of Ecological and Meteorological Monitoring, Building Technologies and Expertises

National Research Mordovia State University

(Russia, Saransk, e-mail: artbalrun@yandex.ru)

KYASHKIN Vladimir Mikhailovich

Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor

Associate Professor at the Department of Physical Materials Science

National Research Mordovia State University

(Russia, Saransk, e-mail: kyashkin@mail.ru)

VOLODIN Sergey Valerievich

student

National Research Mordovia State University

(Russia, Saransk, e-mail: svolodin12@gmail.com)

Abstract. The development of composite modifiers with “core–shell” structure by deposition of TiO₂ on mineral substrates (dispersed carriers) is important direction for improving the efficiency of titanium oxide photocatalysts for cement systems. Foreign and domestic experience in obtaining such composite modifiers shows the primary influence of the type of photocatalytic agent carrier on the final parameters of the synthesized material. It is worth noting that for qualitative assessment of the substrate effectiveness, it is necessary to have data on the composition, structure parameters, and physico-chemical properties of the mineral raw materials used, including its activity in cement systems. The purpose of this study was to establish the patterns of influence of the composition and structure parameters of 4 mineral modifiers on their activity in cement material (fine-grained concrete) with the identification of the most promising raw materials for dispersed carriers of photocatalytic agents in “core-shell” compositions. The study results showed that an increase in the specific surface area and SiO₂ content in the composition, along with a decrease in the crystallinity degree of structure, contribute to an increase in the modifier reactivity. It was found that silicon and aluminosilicate mineral additives, such as silica fume and metakaolin, are the most effective in cement systems. At the same time, the revealed physico-chemical features of these modifiers (high dispersity of particles, predominance of active forms of silica and alumina in the structure and, as a consequence, increased activity) indicate the prospects of their use in the formulation of self-cleaning cement materials as mineral substrate for photocatalysts.

Keywords: “core – shell” photocatalytic system; titanium dioxide; photocatalyst substrate; self-cleaning cement material; mineral additive; specific surface area; phase composition; degree of crystallinity; reactivity; activity index

Acknowledgments: the reported study was funded by scholarship of the President of the Russian Federation for young scientists and postgraduate students for 2022–2024, project No. SP-1000.2022.1.

For citation: Balykov A.S., Kyashkin V.M., Volodin S.V. Reactivity and structural features as factors of prescription effectiveness of mineral additives in photocatalytic cement materials // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 58-63. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_58.

Введение

Актуальным направлением современного строительного материаловедения является создание высокофункциональных цементных систем, характеризующихся многокомпонентным составом и улучшенными эксплуатационными характеристиками [1-7]. Известно, что управление параметрами структуры и достижение требуемого уровня свойств таких материалов может обеспечиваться путем применения модификаторов различного механизма действия – органических или минеральных добавок,

используемых индивидуально или объединяемых в комплексы согласно принципам синергизма и аддитивности [8-15]. К специальной группе модификаторов относят фотокаталитические добавки, дающие возможность получать фотокаталитически активные цементные материалы, способные при облучении светом проявлять ряд положительных свойств, включая способность к самоочищению, разложению загрязнителей атмосферного воздуха и др. [16-22].

К настоящему времени среди многочисленных фотокатализаторов наиболее изученным и ак-



тивно используемым является TiO_2 анатазной формы, характеризуемый химической стабильностью, нетоксичностью и особым строением структуры, обуславливающим его фотоактивность в ультрафиолетовой области спектра [16-17; 20-22]. Тем не менее, согласно литературным данным при использовании в составе цементных материалов фотокаталитическая эффективность TiO_2 может быть снижена в силу ряда обстоятельств, включая сложность равномерного распределения наноразмерного порошка в объеме цементной композиции при малой дозировке фотокатализатора, а также узкий спектральный диапазон действия TiO_2 , что требует его сенсibilизации к видимому свету и др.

Перспективным направлением улучшения свойств титаноксидных фотокатализаторов является разработка композиционных модификаторов со структурой «ядро – оболочка» путем осаждения TiO_2 на минеральные подложки (дисперсные носители). В качестве подложек может использоваться минеральное сырье различного происхождения (природного, техногенное) и состава (кремнеземное, алюмосиликатное, углеродное и др.) [22-27]. Применение дисперсных носителей позволяет повысить фотоактивность композиций «подложка – фотокатализатор» за счет увеличения площади активной поверхности TiO_2 и его более равномерному распределению в объеме материала [22].

Зарубежный и отечественный опыт получения фотокаталитических систем «ядро – оболочка» для цементных материалов показывает первостепенное влияние типа носителя фотокаталитического агента на конечные параметры синтезируемого композиционного модификатора [23-26]. В связи с этим для качественной оценки эффективности подложки необходимо иметь данные о составе, параметрах структуры и физико-химических свойствах применяемого минерального сырья, в том числе и его активности в цементных системах.

Цель данного исследования – установить закономерности влияния состава и параметров структуры 4 минеральных модификаторов на их активность в цементном материале (мелкозернистом бетоне) с выявлением наиболее перспективного сырья для дисперсных носителей фотокаталитических агентов в композициях «ядро – оболочка».

Материалы и методы

Основным компонентом вяжущего в рецептуре цементных материалов являлся портландцемент (ПЦ) класса ЦЕМ I 42,5Б (ПАО «Мордовцемент»). В качестве модификаторов использовались 4 минеральные добавки (МД) кремниевого, алюмосиликатного, сульфоалюминатного и карбонатного состава: микрокремнезем (МКЗМ) неуплотненный

конденсированный марки МК-85 (АО «Кузнецкие ферросплавы»), метакаолин (МТКН) марки МКЖЛ-2 (ООО «Пласт-Рифей»), модификатор сульфоалюминатный расширяющий (РСАМ) (ООО «Парад Русь») и микроальцит (МККТ) марки КМ100 (ООО «Полипарк») соответственно.

Дисперсность частиц минеральных добавок контролировалась по величине их удельной поверхности, определяемой методом Кармана-Козени на приборе ПСХ-12.

Изучение фазового состава модификаторов осуществлялось методом рентгеновской порошковой дифрактометрии (рентгенофазовый анализ (РФА)). Измерения интенсивности и направления рентгеновского излучения, дифрагированного на кристаллической решетке образца, проводились на дифрактометре «PANalytical Empyrean» (Нидерланды) с вертикально расположенным гониометром высокого разрешения. В качестве источника излучения использовалась рентгеновская трубка с медным анодом, для монохроматизации пучка применялся никелевый фильтр. Основные параметры съемки: θ – 2θ сканирование (геометрия по Бреггу-Брентано), применение спектрального дублета $\text{Cu } K_{\alpha 1,2}$, характеризуемого средневзвешенной длиной волны $\lambda=1,54 \text{ \AA}$.

Стоит отметить, что при наличии на дифрактограммах образцов аморфного гало (в частности, у микрокремнезема и метакаолина), дополнительно выполнялся расчет степени кристалличности (α_k) данных модификаторов по формуле:

$$\alpha_k = \frac{I_k}{(I_k + I_a)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где I_k – суммарная площадь всех кристаллических рефлексов;

I_a – площадь аморфного гало.

Химическая активность минеральных добавок оценивалась непосредственно в цементных системах по влиянию модификаторов на прочность мелкозернистого бетона, твердеющего в условиях тепловлажностной обработки (метод ГОСТ Р 56178-2014, п. 9.4.1.9). Исследование проводилось в составах с соотношением цементного вяжущего и стандартного монофракционного песка равном 1/3. В модифицированных цементных системах содержание минеральной добавки составляло 10% от массы вяжущего (ПЦ+МД). По результатам определения прочностных характеристик бетонных образцов, подвергнутых ТВО, вычислялся индекс активности минеральных добавок ($K_{МД}$) по формуле

$$K_{МД} = \frac{R_2}{R_1}, \quad (2)$$

где R_1 и R_2 – прочность на сжатие бетонных образцов контрольного (без МД) и основного (модифицированного) составов соответственно, МПа.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе с применением прибора ПСХ-12 определена удельная поверхность порошков минеральных модификаторов ($\text{м}^2/\text{г}$): микрокремнезем – 20,00; метакаолин – 1,65; расширяющий сульфоалюминатный модификатор – 1,00; микрокальцит – 0,25.

На рис. 1 приведены дифрактограммы порошков минеральных добавок.

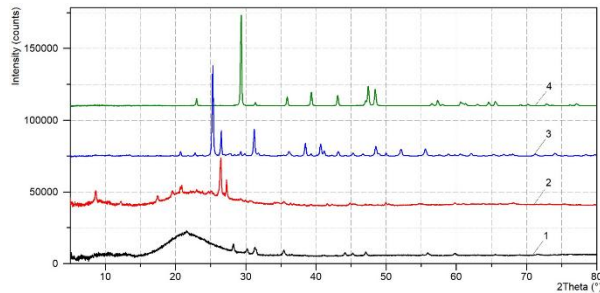


Рис. 1. Дифрактограммы порошков исследуемых минеральных добавок:

1 – МКЗМ; 2 – МТКН; 3 – РСАМ; 4 – МККТ

Методом порошковой рентгеновской дифрактометрии установлен фазовый состав минеральных модификаторов, который преимущественно представлен:

- у микрокремнезема – аморфным кремнеземом ($2\theta = [15; 35^\circ]$ (галло) и модификациями кварца триклинной, кубической и тетрагональной сингоний ($2\theta = [28,24; 30,22; 31,38; 35,42^\circ]$);

- у метакаолина – аморфной фазой (метакаолинитом) ($2\theta = [15; 35^\circ]$ (галло)), минералами каолиновой ($2\theta = [12,18; 20,11; 22,13; 23,33; 25,09; 25,42; 38,33^\circ]$) и иллитовой (слюды и гидрослюды) ($2\theta = [8,68; 19,58; 25,44; 26,45; 34,83; 35,11^\circ]$) групп, модификациями кварца ($2\theta = [8,61; 17,43; 20,86; 26,45; 49,95^\circ]$) и полевыми шпатами ($2\theta = [20,96; 23,97; 26,45; 27,25; 27,32; 41,65^\circ]$);

- у расширяющего сульфоалюминатного модификатора – ангидритом ($2\theta = [22,80; 25,31; 31,22; 31,81; 36,15; 38,50; 40,67; 41,17; 43,18; 45,32; 46,68; 48,53; 52,12; 55,57^\circ]$), геленитом ($2\theta = [23,82; 28,91; 31,22; 52,12^\circ]$), модификациями кварца ($2\theta = [20,71; 21,78; 26,51; 39,33; 49,99^\circ]$), минералами иллитовой группы ($2\theta = [25,31; 26,51; 27,77; 29,85^\circ]$) и полевыми шпатами ($2\theta = [26,51; 27,77; 29,28^\circ]$);

- у микрокальцита – кальцитом ($2\theta = [23,00; 29,36; 31,36; 35,93; 39,35; 43,10; 47,09; 47,45; 48,46; 56,50; 57,32; 58,00^\circ]$).

Таким образом, по результатам качественного РФА выявлено наличие в структуре исследуемых минеральных модификаторов ряда реакционноспособных фаз: у МКЗМ – аморфный кремнезем; у МТКН – метакаолинит и продукты термодеструкции минералов иллитовой группы; у РСАМ – ангидрит и

дегидроксилированные продукты слюды и гидрослюды. При этом установлено, что фазовый состав микрокремнезема и метакаолин характеризуется степенью кристалличности равной 12 и 25 % соответственно.

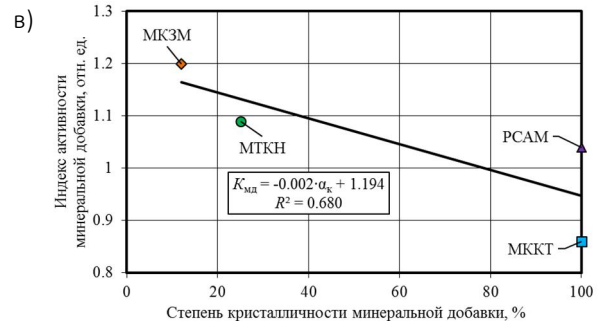
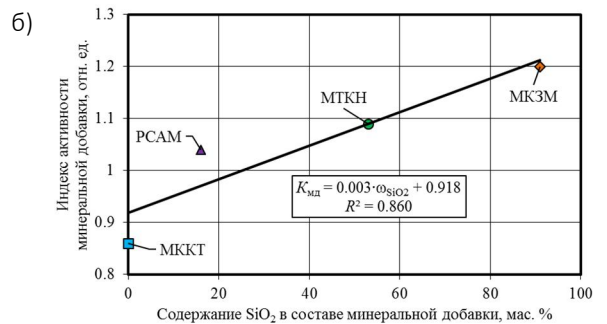
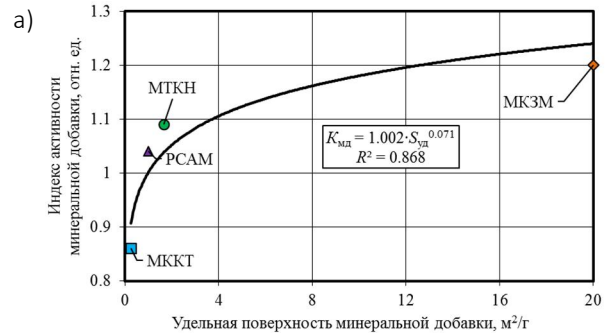


Рис. 2. Корреляционные зависимости индекса активности исследуемых минеральных добавок от их удельной поверхности (а), содержания SiO_2 в составе (б) и степени кристалличности структуры (в)

На рис. 2 (а, б и в) представлены результаты исследования эффективности минеральных добавок в рецептуре мелкозернистого бетона. Выявлено, что индекс активности модификаторов ($K_{\text{мд}}$) достаточно тесно связан с параметрами их гранулометрического и химико-минералогического состава. В частности, увеличение удельной поверхности ($S_{\text{уд}}$) и содержания SiO_2 в материале (ω_{SiO_2}) наряду со снижением степени кристалличности структуры ($\alpha_{\text{к}}$) способствуют повышению реакционной способности модификатора, что подтверждают установленные корреляционные зависимости ($R^2=0,868; 0,860$ и $0,680$ соответственно).



Согласно полученным экспериментальным данным коэффициент активности модификаторов повышается в ряду микрокальцит (МККТ) → модификатор сульфоалюминатный расширяющий (РСАМ) → метакаолин (МТКН) → микрокремнезем (МКЗМ) (0,86 → 1,04 → 1,09 → 1,20 отн. ед.). Таким образом, наибольшей физико-химической эффективностью в цементных системах обладают техногенные минеральные добавки кремниевого и алюмосиликатного состава – микрокремнезем и метакаолин с $K_{\text{мд}} = 1,20$ и 1,09 отн. ед. соответственно.

Повышенная реакционная способность МКЗМ и МТКН, обусловленная высокими значениями удельной поверхности (20,00 и 1,65 м²/г) и степени аморфизации структуры (88 и 75 % соответственно) с преобладанием активных форм кремнезема и глинозема, свидетельствуют о перспективности применения указанных модификаторов в рецептуре самоочищающихся цементных материалов. Данный вывод подтверждается данными ряда работ [23 – 26], в которых перечислены основные требования к минеральным носителям фотокаталитических агентов для цементных систем: высокая концентрация SiO₂ и аморфизированных компонентов в химико-минералогическом составе модификатора – не менее 50 и 70 % соответственно; высокая дисперсность частиц с однородным гранулометрическим составом; развитая химически активная поверхность с наличием многочисленных дефектов, микро- и нанопор и др.

Выводы

Выполненные экспериментальные исследования позволили получить следующие научные результаты:

1. Определена удельная поверхность 4 видов минеральных добавок (кремниевая (микрокремнезем), алюмосиликатная (метакаолин), сульфоалюминатная (модификатор сульфоалюминатный расширяющий) и карбонатная (микрокальцит)).

2. Установлены особенности химико-минералогического (фазового) состава модификаторов, а также степень кристалличности их структуры.

3. Выявлено влияние минеральных добавок на прочность мелкозернистого бетона при его твердении в условиях тепловлажностной обработки с определением индекса активности модификатора.

4. Установлены зависимости индекса активности минеральных добавок от удельной поверхности, содержания SiO₂ в составе и степени кристалличности их структуры.

5. Выявлены наиболее перспективные модификаторы для последующего использования в качестве минеральной подложки в составе фотокаталитических композиций «ядро – оболочка».

Результаты исследований показали, что наибольшей эффективностью в цементных системах

обладают кремниевая и алюмосиликатная минеральные добавки – микрокремнезем и метакаолин. Установленные физико-химические особенности указанных модификаторов (высокая дисперсность частиц, преобладание в структуре активных форм кремнезема и глинозема и, как следствие, повышенная реакционная способность) свидетельствуют о перспективности их использования в рецептуре самоочищающихся цементных материалов в качестве дисперсного носителя фотокаталитических агентов.

Библиографический список

1. O'Hegarty R. High performance, low carbon concrete for building cladding applications / R. O'Hegarty, O. Kinane, J. Newell, R. West // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 43. – Art. no. 102566. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102566>.

2. Tayeh B.A. Ultra-high-performance concrete: Impacts of steel fibre shape and content on flowability, compressive strength and modulus of rupture / B.A. Tayeh, M.H. Ak-eed, S. Qaidi, B.H.A. Bakar // Case Studies in Construction Materials. – 2022. Vol. 17. – Art. no. e01615. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01615>.

3. Zhou M. Application of Ultra-High Performance Concrete in bridge engineering / M. Zhou, W. Lu, J. Song, G.C. Lee // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 186. – Pp. 1256-1267. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.036>.

4. Nizina T.A. Multicriteria optimisation of the formulation of modified fine-grained fibre concretes containing carbon nanostructures / T.A. Nizina, A.N. Ponomarev, A.S. Balykov, D.I. Korovkin // International Journal of Nanotechnology. – 2018. – Vol. 15. – Pp. 333-346. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094790>. – EDN: YBMICL.

5. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2016. – № 1-2. – С. 96–103. – EDN: VPWNMH.

6. Кирсанова А.А. Высокофункциональные тяжелые бетоны нормального твердения / А.А. Кирсанова, Л.Я. Крамар, А.А. Рузавин // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2017. – № 4 (14). – С. 32-38. – EDN: YMNNUW.

7. Низина Т.А. Применение моделей «состав – свойство» для исследования свойств модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов / Т.А. Низина, А.С. Бальков, Л.В. Макарова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 15-21. <https://doi.org/10.12737/22644>. – EDN: XBEZZL.

8. Chand G. Assessment of the properties of sustainable concrete produced from quaternary blend of portland cement, glass powder, metakaolin and silica fume / G. Chand, S.K. Happy, S. Ram // Cleaner Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 4. – Art. no. 100179. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100179>.

9. Mohammed A.M. Experimental and statistical evaluation of rheological properties of self-compacting concrete containing fly ash and ground granulated blast furnace slag / A.M. Mohammed, D.S. Asaad, A.I. Al-Hadithi // Journal of King



Saud University – Engineering Sciences. – 2022. – Vol. 34. – Pp. 388-397. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.12.005>.

10. Strokova V.V. Properties of a composite cement binder using fuel ashes / V.V. Strokova, I.Yu. Markova, A.Yu. Markov, M.A. Stepanenko, S.V. Nerovnaya, D.O. Bondarenko, L.N. Botsman // *Key Engineering Materials*. – 2022. – Vol. 909. – Pp. 184-190. <https://doi.org/10.4028/p-tm4y4j>

11. Каприелов С.С. О подборе составов высококачественных бетонов с органоминеральными модификаторами / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардунян, И.А. Чилин // *Строительные материалы*. – 2017. – № 12. – С. 58-63. – EDN: YMKFDT.

12. Тараканов О.В. Влияние комплексных минеральных добавок на прочность и состав гидратации цементных материалов / О.В. Тараканов, Е.А. Белякова // *Региональная архитектура и строительство*. – 2020. – № 4 (45). – С. 46-52. – EDN: DQIKYM.

13. Чернышов Е.М. Наномодифицирование цементных композитов на технологической стадии жизненного цикла / Е.М. Чернышов, О.В. Артамонова, Г.С. Славчева // *Нанотехнологии в строительстве*. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 130-139. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-3-130-139>. – EDN: NDNJES.

14. Низина Т.А. Исследование комплексов активных минеральных добавок и дисперсных волокон при разработке составов дисперсно-армированных модифицированных мелкозернистых бетонов / Т.А. Низина, А.С. Балыков, Л.В. Макарова, Д.И. Коровкин, В.В. Володин // *Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. – 2017. – № 20. – С. 230-240. – EDN: YVBHJZ.

15. Балыков А.С. Рецептурно-технологическая эффективность осадочных пород различного состава и генезиса в цементных системах / А.С. Балыков, Т.А. Низина, В.М. Кяшкин, С.В. Володин // *Нанотехнологии в строительстве*. – 2022. – Т. 14, №1. – С. 53-61. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-53-61>. – EDN: LASTZC.

16. Janczarek M. Progress of functionalized TiO₂-based nanomaterials in the construction industry: A comprehensive review / M. Janczarek, Ł. Klapiszewski, P. Jędrzejczak, I. Klapiszewska, A. Ślosarczyk, T. Jesionowski // *Chemical Engineering Journal*. – 2022. – Vol. 430, no. 3. – Art. no. 132062. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132062>.

17. Amor F. Contribution of TiO₂ and ZnO nanoparticles to the hydration of Portland cement and photocatalytic properties of High Performance Concrete / F. Amor, M. Baudys, Z. Racova, L. Scheinherrová, L. Ingrisova, P. Hajek // *Case Studies in Construction Materials*. – 2022. – No. 16. – Art. no. e00965. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00965>.

18. Yang L. Photocatalyst efficiencies in concrete technology: The effect of photocatalyst placement / L. Yang, A. Hakki, F. Wang, D.E. Macphee // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2018. – No. 222. – Pp. 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.10.013>.

19. Фаликман В.Р. Нанопокрyтия в современном строительстве / В.Р. Фаликман // *Нанотехнологии в строи-*

тельстве: научный интернет-журнал. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 5-11. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-5-11>. – EDN: ZUVDBK.

20. Тюкавкина В.В. Структура цементного камня, модифицированного нанодисперсной титаносодержащей добавкой / В.В. Тюкавкина, А.В. Цырятьева // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. – 2019. – № 16. – С. 597-601. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.122>. – EDN: ROXPCW.

21. Лукутцова Н.П. Структура цементного камня с диспергированным диоксидом титана в суточном возрасте / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин, О.А. Постникова, С.Н. Головин, Е.Г. Боровик // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2016. – № 11. – С. 13-17. <https://doi.org/10.12737/22432>. – EDN: WXQNZF.

22. Антоненко М.В. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы, свойства, применение / М.В. Антоненко, Ю.Н. Огурцова, В.В. Строкова, Е.Н. Губарева // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2020. – № 3. – С. 16-25. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-3-16-25>. – EDN: AFKXXM.

23. Wang D. SiO₂/TiO₂ composite powders deposited on cement-based materials: Rhodamine B removal and the bonding mechanism / D. Wang, P. Hou, D. Stephan, S. Huang, L. Zhang, P. Yang, X. Cheng // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 241. – Art. no. 118124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118124>.

24. Fatimah I. Physicochemical characteristics and photocatalytic performance of TiO₂/SiO₂ catalyst synthesized using biogenic silica from bamboo leaves / I. Fatimah, N.I. Prakoso, I. Sahroni, M. Miqdam Musawwa, Y.-L. Sim, F. Kooli, O. Muraza // *Heliyon*. – 2019. – Vol. 5, issue 11. – Art. no. e02766. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02766>.

25. Фаликман В.Р. Новые высокоэффективные нанодобавки для фотокаталитических бетонов: синтез и исследование / В.Р. Фаликман, А.Я. Вайнер // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. – 2015. – Т. 7, №1. – С. 18-28. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28>. – EDN: TIXUVD.

26. Строкова В.В. Оценка свойств кремнеземного сырья как подложки в составе композиционного фотокаталитического материала / В.В. Строкова, Е.Н. Губарева, Ю.Н. Огурцова // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2017. – № 2. – С. 6-12. <https://doi.org/10.12737/23819>. – EDN: XTBMIV.

27. Балыков А.С. Оценка эффективности минеральных добавок в цементных системах при разработке фотокаталитических композиций «ядро – оболочка» / А.С. Балыков, Т.А. Низина, В.М. Кяшкин, С.В. Володин // *Нанотехнологии в строительстве*. – 2022. – Т. 14, № 5. – С. 405-418. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-5-405-418>. – EDN: NJAFFT.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 28.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 28.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья

УДК 69.009

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_3_64

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

© Авторы, 2023

SPIN: 7531-2027

AuthorID: 664506

ORCID:0000-0001-6323-8153

SPIN: 6519-8520

AuthorID: 555124

ORCID:0000-0002-1665-9964

ДИДКОВСКАЯ Ольга Всеволодовна

доктор экономических наук, профессор

Самарский государственный технический университет

(Россия, Самара, e-mail: ovd2006@rambler.ru)

КНЯЗЬКИНА Екатерина Владимировна

кандидат экономических наук, доцент

Самарский государственный технический университет

(Россия, Самара, e-mail: evk162@mail.ru)

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения конкурентоспособности строительных предприятий на фоне значительных изменений факторов внешней и внутренней среды, происходящих в современных условиях. Текущие реалии требуют сосредоточения усилий на проработке этапов формирования конкурентных преимуществ предприятий строительной сферы, как одной из ключевых в составе отраслей народного хозяйства. В ходе исследования проанализированы характерные особенности, присущие строительству, выделены ключевые факторы, оказывающие влияние на конкурентоспособность строительных предприятий, определены основные направления обеспечения конкурентоспособности, подобран эффективный инструмент управления качеством, разработан алгоритм разработки программы обеспечения конкурентных преимуществ предприятий данной сферы. Целью работы является разработка последовательных этапов (алгоритма) программы по обеспечению конкурентных преимуществ строительного предприятия в современных условиях с применением одного из семи новых инструментов управления качеством. Среди основных задач можно выделить анализ текущих условий функционирования строительных предприятий с учетом специфики отрасли, определение ключевых направлений обеспечения конкурентоспособности, построение графической модели программы обеспечения конкурентных преимуществ строительного предприятия. В результате данного исследования разработана графическая модель реализации основных этапов разработки программы конкурентных преимуществ строительной организации на основе диаграммы процесса осуществления программы (PDPC).

Ключевые слова: строительство; конкурентоспособность; качество; факторы; неопределенность; внешняя среда; внутренняя среда; современные условия; этапы; диаграмма

Для цитирования: Дидковская О.В., Князькина Е.В. Обеспечение конкурентоспособности строительного предприятия в современных условиях // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 64-68. doi:10.51608/26867818_2023_3_64.

Original article

ENSURING THE COMPETITIVENESS OF A CONSTRUCTION ENTERPRISE IN MODERN CONDITIONS

© The Author(s) 2023

DIDKOVSKAYA Olga Vsevolodovna

Doctor of Economics, Professor

Samara State Technical University

(Samara, Russia, e-mail: ovd2006@rambler.ru)

KNYAZKINA Ekaterina Vladimirovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Samara State Technical University

(Samara, Russia, e-mail: evk162@mail.ru)

Abstract. The study is relevant due to the need to ensure the competitiveness of construction enterprises against the background of significant changes in the factors of the external and internal environment occurring in modern conditions. Current realities require focusing efforts on working out the stages of formation of competitive advantages of enterprises in the construction sector as one of the key sectors of the national economy. During the course of the study, the distinctive characteristics



inherent in the construction industry are scrutinized, the crucial factors that influence the competitiveness of construction enterprises are identified, the primary avenues for ensuring competitiveness are identified, an efficient quality management tool is selected, and an algorithm for generating a program to guarantee competitive advantages of enterprises in this industry are developed. The aim of the work is to develop successive stages (algorithm) of the program to ensure the competitive advantages of a construction company in modern conditions by using one of the seven new quality management tools. The main tasks include analyzing the current operating conditions of construction enterprises, considering the particulars of the sector, identifying the key areas for ensuring competitiveness, and constructing a graphic representation of the program to guarantee the competitive advantages of a construction firm. As a result of this research, a graphical model of the main stages of the development of the program of competitive advantages of a construction organization has been developed based on the diagram of the program implementation process (PDPS).

Keywords: construction; competitiveness; quality; factors; uncertainty; external environment; internal environment; modern conditions; stages; diagram

For citation: Didkovskaya O.V., Knyazkina E.V. Ensuring the competitiveness of a construction enterprise in modern conditions // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 64-68. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_64.

Строительная отрасль в рамках национальной экономики имеет фундаментальное значение. Результатом её функционирования являются основные фонды, создающие условия и возможность осуществлять деятельность всем остальным отраслям. Цикличность и взаимосвязанность отраслевого характера не позволяет, конечно же, выделить строительство из остальных сфер деятельности, так как его эффективность в свою очередь зависит от их результатов [1].

Конкурентоспособность предприятия является индикатором качества его функционирования. В общем понимании под конкурентоспособностью строительной организации можно понимать комплекс её внутренних резервов, позволяющих адаптивно реагировать на отдельные и совокупные изменения макросреды, достигать поставленных целей и задач – то есть создавать объекты строительной отрасли, которые более предпочтительны для потребителей как по стоимостным, так и по качественным критериям в сравнении с аналогичными объектами конкурентов [2].

Сама конкурентоспособность предприятия формируется с учетом отличительных особенностей отрасли, в рамках которой оно функционирует [3]. Строительство имеет целый ряд черт, выделяющих его в народном хозяйстве.

1. Большая продолжительность инвестиционно-строительного цикла, наибольший удельный вес в котором занимает непосредственно производство строительных работ, и, как следствие, возникновение высоких временных рисков в связи с неопределенностью внешней среды [4].

2. Значительное число участников инвестиционно-строительного процесса, что ведет к увеличению рисков некачественного исполнения обязанностей, возможности простоя последующих работ из-за невыполнения предыдущих, непредусмотренного увеличения стоимостных показателей, зависимости качества непосредственно строительного-монтажных работ от качества проектных работ и т.д.

3. Наличие специальной гарантийной системы в области финансирования для защиты покупателей помещений в возводимых строительных объектах. При отсутствии у инвестора (застройщика) собственных средств, необходимых для реализации инвестиционно-строительного проекта, финансовые потоки от дольщиков направляются не ему, а банку-партнеру, который в свою очередь выдает кредит строительной компании, сохраняя средства покупателей. Таким образом, банки в настоящее время выступают в роли некоторых «регуляторов» финансовых потоков в строительной сфере, создавая счета-эскроу.

4. Сильная зависимость от инвестиционной активности участников строительного рынка и платежеспособного спроса внутри региона, в границах которого осуществляется строительство объекта.

5. Значительные объемы материально-технических ресурсов, необходимых для осуществления строительного-монтажных работ.

6. Необходимость выстраивания эффективных логистических путей поставки материально-технических ресурсов, строительной техники и доставки трудовых ресурсов ввиду привязки объекта строительства к определенному территориальному участку.

7. Значительное влияние природно-климатических и экологических условий на возможность осуществления строительных работ и, как следствие, увеличение их стоимости и продолжительности.

8. Принципиальные различия в функционировании строительных организаций в зависимости от их размера: малых, средних и крупных.

С учетом выделенных характерных отраслевых черт можно определить факторы внешнего воздействия на конкурентоспособность строительного предприятия в современных условиях, под которыми принято понимать совокупность условий внешней среды функционирования предприятия, на которые оно не может воздействовать и находится под их непосредственным или косвенным влиянием.



1. Факторы нормативно-правового регулирования строительного комплекса:

- упразднение части нормативных актов в строительстве и введение новых;

- дополнение и изменение существующих нормативных и регламентирующих документов.

2. Государственное регулирование конкуренции и монополии в строительной сфере.

3. Обеспечение эффективной налоговой системы со стороны государства.

4. Государственное регулирование процессов импортозамещения в части применяемых строительных машин и механизмов, специальной строительной техники, материалов и конструкций, в том числе реализация «параллельного импорта».

5. Совершенствование института саморегулирования в строительстве и проектировании.

6. Факторы внешнеполитического воздействия.

7. Природно-климатические и экологические условия.

На региональном уровне выделим следующие факторы влияния.

1. Государственная поддержка реализуемых в регионах инвестиционно-строительных программ и инициатив.

2. Мониторинг состояния и финансовой устойчивости банковских и кредитных структур на региональном уровне.

3. Уровень развития в регионе предприятий строительной индустрии и возможность доставки материалов и конструкций с учетом удорожания и обеспечения необходимого уровня качества.

4. Наличие развитой инфраструктуры в регионе, дорожной сети для различных видов транспорта.

5. Текущее и перспективное состояние рынка рабочей силы: как в части рабочих специальностей, так и инженерно-технических и административно-управленческих направлений подготовки.

6. Подготовка кадров в строительной сфере образовательными учреждениями с учетом текущего и перспективного спроса.

7. Региональный уровень развития конкуренции в рамках строительной отрасли.

8. Уровень развития элементов жилищно-коммунального хозяйства региона.

9. Наличие в крупных городах исторических и культурных центров с объектами культурного наследия, сохранение облика которых накладывает некоторые ограничения на условия строительной деятельности и зачастую ведет к удорожанию строительной продукции.

Среди факторов конкурентоспособности со стороны внутренней среды строительного предприятия, под которыми следует понимать аспекты струк-

туры и ресурсов предприятия, поддающиеся прямому регулированию и совершенствованию путем воздействия управленческих механизмов его руководства, можно выделить следующие [5].

1. Наличие необходимых материальных, трудовых, информационных, финансовых и временных ресурсов.

2. Соответствующая текущей рыночной ситуации система управления на предприятии с элементами прогнозирования в условиях неопределенности внешней среды.

3. Взаимодействие с профильными образовательными учреждениями и центрами повышения квалификации.

4. Разработка индивидуальной комплексной программы обеспечения конкурентоспособности с учетом текущей рыночной ситуации.

5. Создание и поддержание эффективной системы выпуска бездефектной продукции (особенно для предприятий строительной индустрии) и контроля качества.

6. Разработка и реализация программы инновационного развития предприятия с учетом текущих реалий: проблемы санкционного воздействия, изменения рынка IT-услуг и специалистов в этой области, зависимости многих технологических процессов от импортируемого оборудования и сопутствующих технологий.

7. Обеспечение качества эксплуатации имеющихся в распоряжении предприятия строительных машин и механизмов, технологического оборудования.

8. Реализация принципов и методов научно-исследовательской деятельности, особенно со стороны средних и крупных строительных организаций.

С учетом сильной неопределенности внешней среды и всё чаще возникающим дефицитом на рынке отдельных производственных ресурсов, необходимых для качественного выполнения строительной организацией запланированных работ, следует выделить основные направления по обеспечению её конкурентоспособности:

- адаптационная тактическая и стратегическая политика предприятия;

- разработка и постоянная корректировка программ создания и поддержания конкурентных преимуществ с учетом динамики внешней и внутренней среды;

- обеспечение в ходе производственной деятельности заданного уровня качества, в том числе с применением эффективных методов и инструментов управления качеством;

- внедрение и поддержание научно-обоснованных методов бездефектности производства;

- следование принципам ресурсосбережения и энергоэффективности;

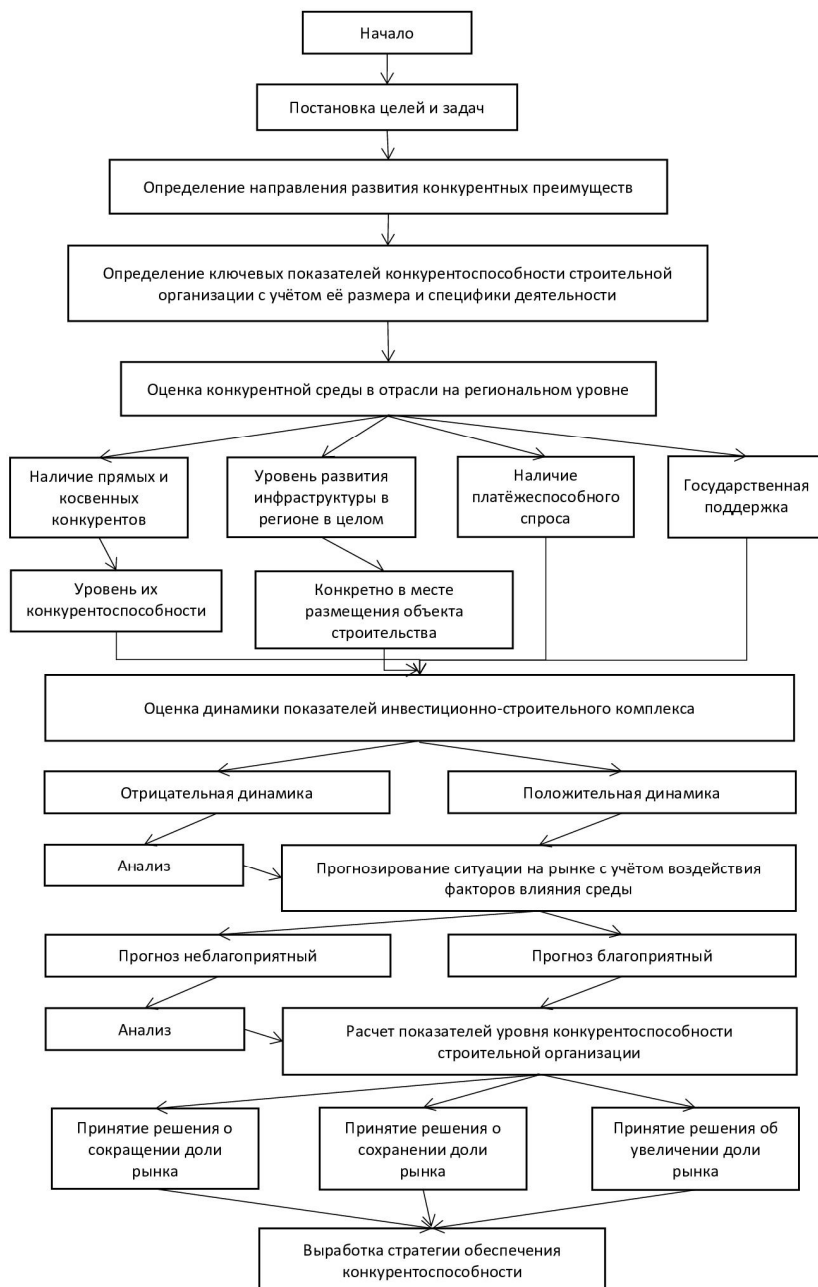


Рисунок 1 – Основные этапы разработки программы конкурентных преимуществ строительной организации

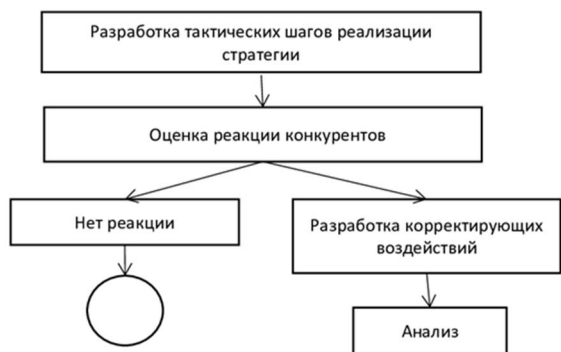


Рисунок 2 – Завершающий этап разработки программы конкурентных преимуществ строительной организации

- обеспечение инвестиционной привлекательности и устойчивости предприятия;
- грамотное взаимодействие с участниками инвестиционно-строительного комплекса, участие в научно-исследовательских мероприятиях и программах переподготовки кадров.

Разработка программы создания и поддержания конкурентных преимуществ строительного предприятия должна разрабатываться с учетом текущего и прогнозного воздействия факторов внешней и внутренней среды и принципов обеспечения конкурентоспособности [6].



В качестве инструмента может быть использован один из семи новых инструментов обеспечения качества – диаграмма процесса осуществления программы (PDPC). Это эффективный вариант создания графической модели алгоритма по оценке целесообразности осуществления тех или иных работ в виде диаграммы, показывающей последовательность этапов работ или принятия решений от постановки задачи до её достижения с возможностью внесения корректирующих воздействий [7]. Традиционно применяется при разработке новой, уникальной программы по достижению поставленной цели, либо в случае необходимости предусмотреть критические ситуации и способы их избегания или снижения их негативного воздействия на основе подробного и ёмкого анализа.

Применение алгоритма разработки программы конкурентных преимуществ должно осуществляться в строительной организации после глубокого и всестороннего анализа внешней и внутренней среды с учетом существующих реалий в отрасли на уровне региона.

Библиографический список

1. Асаул А.Н., Абаев Х. С., Гордеев Д. А. / Оценка конкурентных позиций субъектов предпринимательской

деятельности / под ред. д.э.н., проф.А. Н. Асаула. – СПб.: АНО «ИПЭВ», 2012. –271с.

2. Данилова, В. Ю. Конкурентоспособность строительной организации / В. Ю. Данилова // Молодой ученый. - 2018. - № 44 (230). - С. 67-70.

3. Дубино, Н. В. Методический подход к формированию механизма повышения конкурентоспособности строительных предприятий / Н.В. Дубино, Т.А. Степанова // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2017. - № 3 (56). - С. 148–155.

4. Кузьмин А. А. Повышение конкурентоспособности строительной организации // Инновационная наука. 2018. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-konkurentosposobnosti-stroitelnoy-organizatsii> (дата обращения: 02.06.2022).

5. Белькова, А. Д. Управление конкурентоспособностью строительной продукции / А. Д. Белькова. // Молодой ученый. - 2019. - № 45 (283). - С. 273-275.

6. Ковалева, Л. В. Повышение конкурентоспособности строительной организации / Л. В. Коваева, А. Б. Мельникова // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. - 2017. - № 1. - С. 277–279.

7. Костюкова, С. Н. Процессный подход к управлению конкурентоспособностью строительных организаций / С.Н. Костюкова. // Наука XXI века: актуальные направления развития. - 2016. - № 2–2. С. 37–42.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 19.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 19.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья

УДК 691.54

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_3_69

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С БИОЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ

© Авторы 2023

SPIN: 9764-3898

AutorID: 318240

ORCID: 0000-0002-0241-3808

Scopus ID: 57219486118

ResearcherID: ABF-6031-2021

SPIN: 4425-5045

AutorID: 161483

ORCID: 0000-0001-8407-8144

Scopus Author ID: 56662851300

SPIN: 8674-6046

AutorID: 661151

ORCID: 0000-0002-0885-0937

Scopus ID: 6504731515

ResearcherID: S-6516-2016

SPIN: 5569-3057

AutorID: 761852

ORCID: 0000-0003-1506-8502

Scopus Author ID: 57191250834

ЕЛЬЧИЩЕВА Татьяна Федоровна

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Архитектура и градостроительство»

*Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: elschevat@mail.ru)*

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович

академик РААСН, декан архитектурно-строительного факультета,
директор НИИ «Материаловедение», заведующий кафедрой
строительных материалов и технологий, доктор технических наук,
профессор

*Российская академия архитектуры и строительных наук;
Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарева
(Россия, Саранск, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)*

МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович

член-корреспондент РААСН, директор Института архитектуры,
строительства и транспорта, доктор технических наук, профессор
*Российская академия архитектуры и строительных наук;
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: monastyrev68@mail.ru)*

ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна

кандидат технических наук, доцент
*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет
(Россия, Москва, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)*

Аннотация. Статья посвящена разработке нового перспективного вяжущего на основе портландцемента, отвечающего современным требованиям строительного материаловедения в части обеспечения биоцидных свойств строительных материалов (бетонов, кладочных и штукатурных растворов, сухих строительных смесей), что является весьма актуальным при эксплуатации наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Ключевые слова: строительные материалы; композиционное вяжущее; биоцидные добавки; строительная отрасль; материаловедение

Для цитирования: Разработка композиционного вяжущего с биоцидными свойствами / Т.Ф. Ельчищева, В.Т. Ерофеев, П.В. Монастырев, И.В. Ерофеева // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 69-73. doi:10.51608/26867818_2023_3_69.



Original article

DEVELOPMENT OF A COMPOSITE BINDER WITH BIOCIDAL PROPERTIES

© The authors 2023

ELCHISHCHEVA Tatyana Fedorovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department "Architecture and Urban Planning"
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: elschevat@mail.ru)

EROFEEV Vladimir Trofimovich

Academician of RAACS, Dean of the Faculty of Architecture and Construction,
Director of the Research Institute "Materials Science", Head of the Department
of Building Materials and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Professor
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
National Research Mordovian Ogarev State University
(Russia, Saransk, e-mail: yerofeevt@mail.ru)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich

Corresponding Member of RAACS, Director of the Institute of Architecture,
Construction and Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: monastyrev68@mail.ru)

EROFEEVA Irina Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State University of Civil Engineering
(Russia, Moscow, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)

Abstract. The article is devoted to the development of a new promising binder based on Portland cement, which meets the modern requirements of building material science in terms of ensuring the biocidal properties of building materials (concrete, masonry and plaster mortars, dry building mixtures), which is very relevant in the operation of external enclosing structures of buildings and structures.

Keywords: building materials; composite binder; biocidal additives; construction sphere; material science

For citation: Development of a composite binder with biocidal properties / T.F. Elchishcheva, V.T. Erofeev, P.V. Monastyrev, I.V. Erofeeva // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 69-73. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_69.

Введение

Разработка новых строительных материалов (бетонов, кладочных и штукатурных растворов, сухих строительных смесей) с учетом сложных условий эксплуатации наружных ограждающих конструкций зданий является важным разделом строительного материаловедения [1–3]. Весьма актуальным при их изготовлении является применение перспективных вяжущих на основе портландцемента, применяющихся для изготовления высокопрочных бетонов. Важными характеристиками материала является повышение трещиностойкости (оценивается удельными энергозатратами на статическое разрушение образца, статическим джей интегралом, характеризующим энергию вязкого или пластического разрушения материала у вершины трещины и статическим коэффициентом интенсивности напряжений при нормальном разрыве) [4–5]. Повышение биозащитных свойств (оценивается показателем развития

микробактериальных организмов на поверхности образцов) также важно вследствие непосредственного контакта наружных ограждающих конструкций со средой, содержащей влагу, загрязняющие вещества и биологические компоненты [6–9].

Проведенный патентный поиск показал, наиболее близкие характеристики составов для планируемой разработки композиционного вяжущего с высокими прочностными свойствами и показателями биостойкости имеют пять исследованных составов композиционного вяжущего:

- сырьевая смесь для приготовления легкого бетона. Состав – портландцемент, бокситовый шлам, зола-унос, вода. Соотношение коэффициентов основности золы и шлама составляет 0,5–1,15, коэффициент основности шлама 1,16 (SU 1766866, МПК C04B 28/02, C04B 18/04, опубл. 07.10.1992). Основные недостатки смеси – низкие показатели прочности и ограниченное применение кислой золы-уноса,



что не позволяет решать в полном объеме экологические проблемы;

- золоцементное вяжущее (зольтит). Содержит кислую золу-унос ТЭЦ, бокситовый или нефелиновый шлак, комплексную добавку, портландцемент. Удельная поверхность размолотого состава 450–550 м²/кг (RU 2452703, МПК С04В 7/28, опубл. 10.06.2010). Недостатки – низкая прочность цементного камня на основе вяжущего и невозможность его применения для зимнего бетонирования;

- смесь на основе портландцемента, включает песок с модулем крупности 2,4, щебень фракции 10–20 мм, тонкомолотый доменный шлак с удельной поверхностью 330 м²/кг, комплексную добавку (водный раствор поликарбоксилатного полимера CP-WRM, представленного сополимером акриловой кислоты и этилового эфира метакриловой кислоты с плотностью $\rho=1,033$ г/см³, водородным показателем pH=6,5, и поликарбоксилатного полимера Sika Viscocrete 225 на основе эфира аллила и ангидрита малеиновой кислоты) и воду (RU 2717399, МПК С04В 28/04, С04В 28/00, С04В 18/06, С04В 24/26, С04В 111/20, опубл. 24.03.2020). Недостатки – недостаточная прочность бетона на растяжение при изгибе и низкая биостойкость;

- композиционное вяжущее. Включает портландцемент, доменный гранулированный шлак, карбонатную муку, карбонат калия, сухой гиперпластификатор PANTARHIT PC160. Вяжущее получают путем совместного помола компонентов в вибрационной мельнице до удельной поверхности 510–560 м²/кг (RU 2658416, МПК С04В 7/19, С04В 14/26, С04В 22/08, С04В 111/20, опубл. 21.06.2018). Недостатки – получаемый на основе вяжущего бетон имеет недостаточную прочность на сжатие и низкую биостойкость;

- сырьевая смесь для изготовления мелкозернистого бетона (состав принят в качестве прототипа). Содержит компоненты, в частях по массе: портландцемент М500 – 24–26, кварцевый песок – 74–76, агар (в качестве водоудерживающей добавки) – 0,05–0,5, вода – 12–14 (RU 2662167, МПК С04В 28/04, С04В 24/38, С04В 111/20, опубл. 24.07.2018). Недостатки – низкая прочность и модуль упругости цементного камня, низкая биостойкость, что ведет к снижению долговечности бетонов на его основе.

Однако указанные недостатки сырьевых смесей и композиционных вяжущих и низкие показатели биостойкости не могут позволить рекомендовать их к применению при изготовлении изделий и возведении наружных ограждающих конструкций в сложных условиях эксплуатации и воздействии агрессивной биологической среды.

Материалы и методы

Для разработки состава композиционного вяжущего, изделия из которого отвечают требованиям

прочности и биостойкости, применялись следующие строительные материалы: портландцемент М500-Д0 Н (производство «Ульяновский цементный завод», г. Ульяновск), ГОСТ 31108 [10]; сухой суперпластификатор «Melflux 5581F» (производство BASF Construction Additives, Германия); смесь кварцевого и доломитового порошков состава 3:1 с дисперсностью, соответственно, 300 и 600 м²/кг; биоцидная наномодифицированная добавка РОСИМА GT (НМ) в виде водной суспензии. Указанная добавка состоит из добавки РОСИМА GT, произведенной компанией The Dow Chemical Company, США, и нанодисперсных форм неорганических и органических соединений. Добавки РОСИМА GT включает смесь хлорметил- / метилизотиазолинона, четвертичного аммониевого соединения, формальдегида и производные формальдегида. Нанодисперсные формы неорганических и органических соединений представляют собой смесь наполнителя, суперпластификатора и углеродных кластеров фуллероидного типа, и улучшают технологические и функциональные свойства добавки РОСИМА GT. Наполнитель является носителем фуллероидных кластеров и представляет собой смесь наночастиц в виде попутных продуктов синтеза фуллероидных кластеров – 3–5 % (масс.) и минеральной добавки (например, шунгитового порошка) – 95–97 % (масс.).

Поиск рациональных составов композиционного вяжущего производился на основании лабораторных исследований с использованием метода математического планирования эксперимента.

Изготовление образцов для испытания цементного камня из композиционного вяжущего проходило по следующей схеме. В работающий смеситель вводились все сухие компоненты, подавалась вода затворения [11] с растворенными в ней добавками (пластифицирующей и биоцидной). Далее проводилось формование образцов. Набор прочности композитов происходил в нормальных условиях в течение 28 суток, затем определялись их физико-механические характеристики стандартными методами – прочность при изгибе, сжатии, раскалывании, выявлялась биологическая стойкость образцов.

Прочность изготовленных образцов цементных композитов определялась в соответствии со стандартами [12–13], интенсивность развития плесневых грибов – по стандарту [5].

Результаты

На основании проведенных лабораторных исследований авторским коллективом был разработан состав композиционного вяжущего, который включает, % по массе: портландцемент – 45,0–52,0; сухой суперпластификатор «Melflux 5581F» – 0,2–0,22; кварцевый порошок на основе песка Смольнинского карьера (пос. Смольный, Республика Мордовия) с



удельной площадью поверхности $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ – 35,0–39,0; доломитовый порошок с $S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$ (химический состав, %: CaO – 30,4, MgO – 21,7, CO₂ – 47,9) – 11,8–13,98; водная суспензия – 1,0–1,8; вода по ГОСТ 23732-2011 [12] – составляет остальной процент. Количество воды для приготовления составов принималось с учетом обеспечения равной подвижности смеси.

На разработанные составы авторским коллективом получен Евразийский патент на изобретение «Композиционное вяжущее» № 040942 [6]. Композиционное вяжущее, состав которого представлен в таблице 1, предназначено для изготовления конструкций и изделий из бетонов и других цементных композитов различных видов в гражданском и транспортном строительстве.

Таблица 1 – Содержание компонентов в составах композиционного вяжущего

Компоненты смеси, мас. %	Номера составов					Прототип
	1	2	3	4	5	
Портландцемент	52	50,5	49	47,5	45	26
Кварцевый песок	—	—	—	—	—	74
Агар	—	—	—	—	—	0,5
Сухой суперпластификатор	0,2	0,2	0,21	0,21	0,22	—
Кварцевый порошок, $S_{уд} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$	35	36	37	38	39	—
Доломитовый порошок, $S_{уд} = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$	11,8	12,1	12,39	12,69	13,98	—
Водная суспензия, состоящая из смеси хлорметил-/метилзотиазолона, четвертичного аммониевого соединения, формальдегида и производных формальдегида и нанодисперсных форм неорганических и органических соединений, представляющих собой смесь наполнителя, суперпластификатора и углеродных кластеров фуллероидного типа	1	1,2	1,4	1,6	1,8	—
Вода	с учетом обеспечения равной подвижности смеси					14

Физико-механические свойства и биостойкость цементного камня на композиционном вяжущем (в возрасте 28 суток, при нормальных условиях твердения) и различных соотношениях компонентов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Свойства цементного камня на композиционном вяжущем

Компоненты смеси	Номера составов					Прототип
	1	2	3	4	5	
Прочность при изгибе, МПа	9,1	12,9	13,5	13,0	10,0	8,0
Прочность при раскалывании, МПа	5,1	6,1	6,9	6,7	6,1	3,0
Удельные энергозатраты на статическое разрушение образцов, Дж/м ²	140,0	141,0	151,0	147,0	143,0	65,0
Статический джей интеграл, Дж	45,3	45,9	46,1	45,5	44,9	9,5
Статический коэффициент интенсивности напряжений при нормальном разрыве, МПа·м ^{1/2}	0,55	0,65	1,35	1,30	1,28	0,52
Степень развития плесневых грибов: Метод 1	0	0	0	0	0	—
Метод 3	0	0	0	0	0	—
Радиус зоны ингибирования роста грибов, мм	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	—
Характеристика материалов, ГОСТ 9.049.91 [5]	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	НГ

В таблице указаны характеристики композиций: Ф – фунгицидный; НГ – негрибостойкий.

Обсуждение

Физико-механические характеристики изделий из цементного камня, полученного на основе композиционного вяжущего, повышаются, что ведет к повышению прочности и увеличению долговечности бетонов, изготовленных на его основе. Расход портландцемента снижается, что достигается его заменой активированным наполнителем минерального происхождения. Наполнитель состоит из смеси кварцевого и доломитового порошков и водной суспензии.

Преимущества состава по сравнению с прототипом: повышение прочности на изгиб и сжатие,



биологическая стойкость цементного камня; экономический эффект за счет снижения расхода портландцемента путем его замены реакционно-реологическим наполнителем минерального происхождения и применением в рецептуре биоцидной добавки.

Прочность изготовленных образцов цементных композитов зависит от соотношения компонентов в составе композиционного вяжущего. По сравнению с составом-прототипом (табл. 1 и 2) прочность при изгибе оказалась выше на 13,7–68,8 %, при сжатии – на 2–33,7 %, при раскалывании – на 70,0–130,0 %. Развития плесневых грибов на поверхностях образцов не наблюдалось, они обладают фунгицидными свойствами. Радиус зоны ингибирования роста грибов (отсутствия грибов вокруг образцов) составляет 1,0–10,0 мм.

Заключение

В ходе проведенных исследований разработаны составы композиционного вяжущего, использование которых в составах строительных материалов позволяют получить материал обладают повышенными физико-механическими и биоцидными свойствами, что позволяет их рекомендовать для применения в качестве строительных материалов для изготовления изделий для наружных ограждающих конструкций, эксплуатация которых происходит в сложных условиях воздействия среды и биологических компонентов.

Библиографический список

1. Городнов, И. И. Обзор работ по оптимальному и рациональному конструированию композитных балочных систем / И. И. Городнов, А. И. Шеин, В. А. Монахов // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 1(46). – С. 109-121.
2. Логанина, В. И. Влияние вида отделочного покрытия на влажностный режим стен из газобетона / В. И. Логанина, М. В. Фролов, Е. А. Журавлева // Технологии бетонов. – 2023. – № 3(188). – С. 69-74.
3. Высокофункциональные бетоны для станкостроения с применением нано- и микромасштабных сырьевых компонентов / В. А. Береговой, Е. В. Снадин, А. С. Иноземцев, А. С. Пилипенко // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 200-210. – DOI 10.15828/2075-8545-2023-15-3-200-210.
4. Структурообразование, технология изготовления и свойства бетонов нового поколения / В. Т. Ерофеев,

О. В. Тараканов, И. Н. Максимова [и др.]. – Саранск : изд, 2023. – 248 с.

5. Клейменов, А. А. Статистические методы оценки эффективности добавок при проектировании композитов / А. А. Клейменов, Д. С. Ликучев, И. А. Гарькина // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2023. – № 1(44). – С. 186-195.
6. Ермаков, А. А. Физико-механические свойства пеностеклокерамики на основе кремнистых пород с высоким содержанием CaCO_3 / А. А. Ермаков, А. И. Родин // Огарёв-Online. – 2021. – № 6(159).
7. Тараканов, О. В. Применение минеральных шламов и карбонатных пород в производстве цементных материалов / О. В. Тараканов, Е. А. Белякова, Р. Н. Москвин // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 1(20). – С. 130-132. – DOI 10.51608/26867818_2023_1_130. – EDN PKNPUU.
8. Порошковые и порошково-активированные бетоны с использованием горных пород и зол ТЭЦ / Е. А. Белякова, Р. Н. Москвин, О. В. Тараканов, В. С. Юрова. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2022. – 176 с. – ISBN 978-5-9282-1725-9.
9. Будылина, Е. А. Синтез материалов с регулируемые свойствами / Е. А. Будылина, И. А. Гарькина, А. М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 2(51). – С. 39-44. – DOI 10.54734/20722958_2022_2_39. – EDN HPCDKG.
10. ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 19 с.
11. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.
12. ГОСТ 30744–2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. М.: МНТКС, 2002. 30 с.
13. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2018. 32 с.
14. ГОСТ 9.049.91. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. М.: Изд-во стандартов, 1992. 11 с.
15. Ерофеев В.Т., Пухаренко Ю.В., Ерофеева И.В., Родин А.И., Емельянов Д.В., Балатханова Э.М. (RU), Аль-Дулайми С.Д.С. (IQ), Светлов Д.А., Максимова И.Н., Ельчищева Т.Ф., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Гладкин С.С., Сальникова А.И., Чуваткин А.А. (RU) Композиционное вяжущее // Евразийский патент на изобретение № 040942 от 22.08.2022. Оpubл. бюл. Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» №8 от 19.08.2022 г.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.06.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.06.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья

УДК 699.81: 614.841. 332

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_3_74

НОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

© Авторы, 2023

SPIN: 8213-6694

AuthorID: 664891

ИЛЬИН Николай Алексеевич

к.т.н., профессор РАЕ, Почетный работник ВПО РФ

*Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара, e-mail: sk@samgtu.ru)*

SPIN: 4238-7371

AuthorID: 623460

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЖБК

*Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара, e-mail: panda-w800i@yandex.ru)*

SPIN: 2918-4551

AuthorID: 235711

КОЗЛОВ Александр Вячеславович

к.т.н., доцент кафедры ЖБК

*Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара, e-mail: sk@samgtu.ru)*

ВАСЮЧКИН Герман Романович

студент

Самарский государственный технический университет

(Россия, Самара, e-mail: Plato2008@yandex.ru)

Аннотация. В статье приведены результаты усовершенствования испытательной установки для теплофизических исследований и опытного испытания плоских изделий на огнестойкость. Новое техническое решение относится к области теплофизических исследований строительных изделий и испытательной техники по разделу электротехники и может быть использована в электронагревателях сопротивления для тепловых испытаний плоских строительных изделий, сопротивляющихся высокотемпературному воздействию ($1000 \pm 50^\circ\text{C}$) стандартного пожара.

Главное и существенное в предложенном техническом решении теплофизической задачи теории огнестойкости состоит в проектировании и изготовлении более легкой, надежной, компактной, безопасной, экологичной и экономичной испытательной установки, используя в качестве нагревателя испытуемого изделия электропанели сопротивления с высоким КПД (75÷95)%.

Технологический результат и экономический эффект получен вследствие снижения категории помещения с испытательной установкой от повышенной взрыво-пожароопасности (А; Б) до умеренно-пожароопасности (Г); в возможности более точного регулирования подъема температуры в процессе испытания и степени высокотемпературного нагрева испытуемого изделия; а так же вследствие снижения массы испытательной установки примерно в 100 раз; из-за снижения в 4÷10 раз объемных габаритов предлагаемой установки; вследствие повышения в 2,5÷3 раза КПД установки по сравнению с аналогом; а так же снижения трудоемкости и трудозатрат на установку и проведение тепловых испытаний [3-5].

Ключевые слова: огнестойкость зданий; плоских изделий; теплофизические исследования; огнестойкость изделий; усовершенствование испытательной установки, особенности нагревателя установки, электропанель сопротивления; новизна элементов установки, суть технического решения; уровень техники; пожарная категория установки; технологический результат, экономический эффект; изобретательский уровень

Для цитирования: Новая установка для испытания малогабаритных плоских изделий на огнестойкость / Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов, А.В. Козлов, Г.Р. Васючкин // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 74-79. doi:10.51608/26867818_2023_3_74.



Original article

NEW DEVICE FOR TESTING FIRE RESISTANCE OF SMALL SIZE FLAT PRODUCTS

© The Author(s) 2023

ILYIN Nikolay Alekseevich

Candidate of Technical Sciences
Samara State Technical University
(Samara, Russia, e-mail: sk@samgtu.ru)

PANFILOV Denis Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, head of the department
Samara State Technical University
(Samara, Russia, e-mail: panda-w800i@yandex.ru)

KOZLOV Alexander Vyacheslavovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Samara State Technical University
(Samara, Russia, e-mail: sk@samgtu.ru)

VASYUCHKIN German Romanovich

student
Samara State Technical University
(Samara, Russia, e-mail: sk@samgtu.ru)

Abstract. The article presents the outcomes of enhancing the test setup for thermophysical research and investigating the fire resistance of flat products. The new technical solution relates to the field of thermophysical research of building products and electrical testing equipment and can be used in electrical resistance heaters for heat testing of flat building products, resisting high temperature (1000±50 °C) standard fire.

The main and essential component of the proposed technical solution to the thermal physical problem of the fire resistance theory is the design and manufacture of a lighter, more reliable, compact, safe, environmentally friendly and economic test setup, using as the heater of the test article the electric resistance panel with high efficiency (75÷95)%.

To improve technology and save money, we change the test setup from being dangerous for explosions and fires to being safe for moderate fires. This means we can control the temperature rise and heat of the test article more accurately. We also reduce the size of the test unit by about 100 times. We also make it smaller by 4 to 10 times. This makes the plant 2.5 to 3 times more efficient and saves on labor.

Keywords: fire resistance of buildings; flat products; thermophysical research; fire resistance of products; improvement of the test installation, features of the heater installation, electrical resistance panel; novelty of the installation elements, essence of the technical solution; technical level; fire category of installation; technological result, economic effect; inventive level

For citation: New device for testing fire resistance of small size flat products / N.A. Ilyin, D.A. Panfilov, A.V. Kozlov, G.R. Vasyuchkin // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 74-79. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_74.

Совершенствование конструкций экспериментальных установок для испытания на огнестойкость и огнесохранность плоских изделий из бетона является одним из путей развития науки о железобетоне и испытательной техники для исследования материалов при повышенных (до 400 °C) и высоких (свыше 450 °C) температурах (условия пожара в зданиях) [6; 9-10].

Выбор и изготовление рациональной испытательной установки для тепловых испытаний, армированных и неармированных бетонных изделий требуют выявления на стадии проектирования стоимости и трудоемкости изготовления установки и последующего теплового испытания.

Уменьшение затрат на строительные материалы при проектировании и изготовлении испытательной установки, разработка новых усовершен-

ствований по конструированию основных элементов (например, нагревателя) испытательной установки для теплофизических исследований бетона позволяет считать проведение научной работы по данному направлению весьма актуальной [1-2; 8].

Целью данной работы является выявление уровня техники конструктивного решения, отыскание аналогов существующих установок для теплофизических испытаний бетона плоского изделия для разработки изобретения (полезной модели); обоснование положительных технико-экономических показателей предлагаемых усовершенствований; разработки проекта более прогрессивного, экономичного и пожаробезопасного испытательного устройства.

Из материалов выявления технического уровня конструктивного решения известна установка вертикальная печь для теплотехнических исследований, ко-



торая представляет собой горизонтальную огневую камеру размером 1000x1500x1500 мм, обогреваемую двумя форсунками (см. рис.18 [2]).

Испытательная установка выполнена из шамотного кирпича в сочетании с жестким сварным каркасом. Установка оснащена спец.оборудованием и аппаратурой для создания, контроля и регулирования стандартного температурного режима пожара. Установка работает на жидком топливе (керосине) или на горючем газе (метан), сжимаемых в огневой камере: температурное воздействие- режим стандартного пожара.

Температуру в процессе испытаний измеряют хромель-алюминиевыми ($20 \div 1100^\circ\text{C}$) и хромель-копелевыми ($20 \div 600^\circ\text{C}$) термопарами из проволоки \varnothing (0,5 \div 0,7) мм; [2].

Из технической литературы известны термокамеры элементов электрических печей [7].

Нагрев в электропанели сопротивления отличается высокими метрологическими показателями, надежностью, долговечностью, простотой оборудования. Специфика электрических печей – большая инерционность, затрудняющая их использование при необходимости нагрева и охлаждения образцов в режиме больших скоростей.

Одним из основных элементов электрических печей является нагреватель. В термокамерах до 450°C применяют трубчатые электронагреватели (ТЭНы), которые удобны для монтажа и закрытостью исполнения. Удельная мощность ТЭНов $2 \div 8 \text{ Вт/см}^2$; $t_{\text{max}} = 700^\circ\text{C}$.

Для электрических печей с температурой свыше 450°C применяют открытые нагреватели из жаростойких сплавов (проволока, прутки, лента, лист): например, сплав Х15 Н60- имеет среднюю плотность $8,8 \text{ г/см}^3$; максимальная температура при \varnothing 0,2 \div 3 мм равна $900 \div 1100^\circ\text{C}$, удельное электро-сопротивление 1,25 мкОм·м (1100°C).

Теплоизоляция электропечи состоит из 2 \div 3 слоев; внутренний слой образуют огнеупорные изделия с малой теплопроводностью, теплоемкостью и электропроводимостью. Например, шамотные изделия плотностью $1,8 \div 1,9 \text{ г/см}^3$; максимальная температура $1350 \div 1450^\circ\text{C}$; коэффициент термодиффузии $D_{\text{в,ис}} = 27 \text{ мм}^2/\text{мин}$.

Внешний слой тепловой изоляции состоит из теплоизоляционных материалов с малым коэффициентом термодиффузии; например, плиты цементоперлитовые средней плотностью $1,0 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$; $D_{\text{пп}} = 14 \text{ мм}^2/\text{мин}$.

В известной конструкции испытательной техники применяют устройства с электроконтактным нагревом (выделение тепла непосредственно в образце при прохождении по нему электрического тока). Этот метод отличается экономичностью и простотой [7].

Известна установка для теплофизических исследований и испытания на огнестойкость малогабаритных фрагментов плоских конструкций. Испытания на огнестойкость образцов строительных конструкций на установке (печи), выполненной из шамотного кирпича, и оснащенной оборудованием и аппаратурой для создания, контроля и регулирования стандартного температурного режима пожара. Установка работает на жидком топливе (керосине) или на газе, сжигаемых в огневой камере при помощи двух форсунок с воздушным дутьем. Малая горизонтальная печь имеет огневую камеру размером 1000x1000x850 мм, температурный режим определяется зависимостью (1):

$$t_{\text{ст}} = 345 \cdot \lg(8\tau_{\text{ис}} + 1) + t_e, \quad (1)$$

где $t_{\text{ст}}$ – температура в огневой камере печи во время испытания, $^\circ\text{C}$; t_e – начальная температура строительного изделия, $^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{ис}}$ – время от начала испытания, мин. [11].

Недостатки известной малой огневой горизонтальной печи для испытания плоских конструкций на огнестойкость: громоздкость испытательной установки (масса установки из шамотного кирпича $M \geq 10$ тонн), малый коэффициент полезного действия (КПД) $20 \div 40\%$ при использовании керосина в качестве топлива; велика трудоемкость изготовления печи, большие трудозатраты на подготовку и проведение огневых испытаний, большая инерционность малой печи, велика рабочая площадь места испытания, ухудшение санитарно-технических условий для испытателей вследствие выделения вредных продуктов неполного сгорания (окись углерода и т.п.)

Сущность конструктивного решения заключается в проектировании, изготовлении и эксплуатации более легкой, надежной, компактной, безопасной и экономичной испытательной установки, используя в качестве нагревателя испытуемого образца нагревательную электропанель сопротивления с высоким КПД ($75 \div 95\%$).

Выводы: технологический результат и экономический эффект заключаются в: 1) проектировании, изготовлении и эксплуатации более легкой, надежной, компактной, безопасной и экономичной испытательной установки; 2) использовании нагревательной электропанели сопротивления с высоким коэффициентом полезного действия (КПД= $75 \div 95\%$); 3) снижении класса пожароопасности испытательной установки; 4) улучшении санитарно-технических условий для испытателей; 5) возможности более точного регулирования подъема температуры и степени нагрева испытуемого образца до определенной температуры; 6) возможности передачи тепла непосредственно от нагревателя к испытуемому образцу путем электроконтактного соприкосновения, исключая необходимость проектирования огневой камеры; 7) сни-

жени массы установки; 8) снижении трудоемкости и трудозатрат на подготовку и проведение тепловых испытаний.

Указанный технологический результат и экономический эффект при использовании нового конструктивного решения достигается тем, что в известной установке для теплофизических исследований и испытания на огнестойкость плоских изделий, включающей несущий каркас, нагреватель испытуемого изделия, контрольные термопары, аппаратуру и оборудование для создания и регулирования теплового режима стандартного испытания, опирания и закрепление образца изделия, испытуемого на огнестойкость, отличительные особенности которой заключены в том, что несущий каркас установки, - для размещения, опирания и закрепления элементов нагревательной электропанели сопротивления и её теплоизоляционной футеровки, - выполнен в виде сварной рамы, в качестве материала теплоизоляционной футеровки применен легкий бетон, в качестве нагревателя испытуемого образца изделия применена квадратная в плане нагревательная электропанель сопротивления размером 500x500 мм или прямоугольная в плане размером 500x250 мм; длину активной зоны нагревательной никромовой проволоки электропанели сопротивления вычисляют по уравнению (2):

$$l_a = S_n \cdot R_n / \rho_t, \quad (2)$$

где S_n и R_n - площадь сечения (мм^2) и соответственно электрическое сопротивление нагревательной проволоки, Ом; ρ_t - удельное сопротивление нагретой нагревательной проволоки, Ом · $\text{мм}^2/\text{м}$;

подовая часть нагревательной электропанели сопротивления снабжена электронагревателем, который выполнен в виде проволочного нагревателя закрытого типа, снабженный контактными выводами;

в качестве условного пода нагревательной электропанели сопротивления использована поверхность контрольной зоны нагрева испытуемого образца изделия;

термопары для контроля и регулирования температуры стандартного теплового испытания оборудованы медными наконечниками и расположены в зоне контактного нагрева непосредственно на обогреваемой поверхности испытуемого образца (ϑ_{ex} , °C), изменяющегося по уравнению (3):

$$\vartheta_{ex} = 400 \cdot \tau_{ис}^{0,15}, \quad (3)$$

где $\tau_{ис}$ - длительность огневого испытания, мин;

толщина теплоизоляционной футеровки ($H_{фут}$, мм) нагревательной электропанели сопротивления определена по уравнению (4):

$$H_{фут} = 40 \cdot D_{BT} \cdot \tau_{ис}^{0,15} / T_u^{0,9}, \quad (4)$$

где D_{BT} - коэффициент термодиффузии легкого бетона футеровки, $\text{мм}^2/\text{мин}$;

$\tau_{ис}$ - длительность огневого испытания, мин; T_u - предельная безопасная температура нагрева не

обогреваемой поверхности футеровки, например, $T_u = 60^\circ \text{C}$; для проверки и настройки терморегулирующего оборудования и аппаратуры применен стенд, содержащий предохранители, выключатель, вольтметр, амперметр, автотрансформатор, контрольные термопары, подключенные к самопишущему электронному потенциометру или к милливольтметру [12].

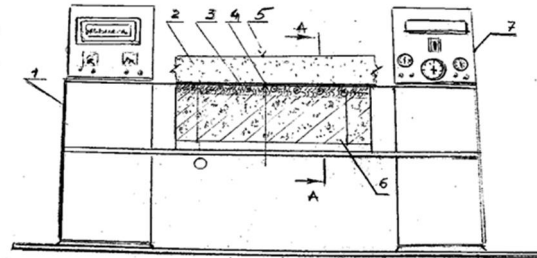


Рис. 1. Установка для теплофизических исследований и испытания плоских изделий:

- 1 - каркас установки; 2 - испытуемый образец изделия; 3 - электропанель сопротивления; 4 - термопара на рабочей поверхности электропанели сопротивления; 5 - термопара на необогреваемой поверхности образца изделия; 6 - теплоизоляционная футеровка, армированная гнутой сеткой; 7 - стенд для проверки и настройки терморегуляторов электропанели сопротивления

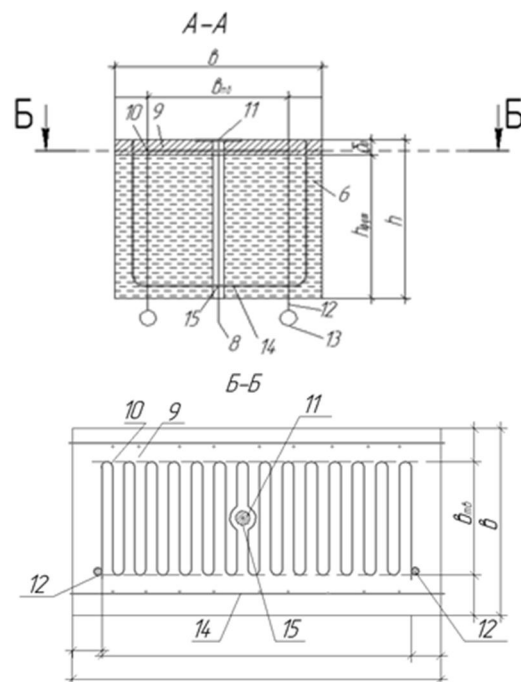


Рис. 2. Нагревательная электропанель сопротивления:

- сечение А-А, вид с торца и сечение Б-Б, вид сверху: 8 - электроды термопары; 9 - огнеупорная пластина из шамота; 10 - проволочный зигзаг; 11 - рабочий спай с наконечником термопары; 12 - контактные выводы; 13 - петля контактного вывода; 14 - арматурный каркас (сетка) электропанели сопротивления; 15 - керамическая изоляционная трубка



Проектирование, изготовление и эксплуатация более легкой, надежной, компактной, безопасной и экономичной испытательной установки дает положительные результаты вследствие снижения массы установки в 100 раз ($M_1/M_2 = 10000/100$ кг), использование нагревателя в виде электропанели сопротивления (КПД = $75 \div 90\%$) вместо керосинового топлива (КПД $\cong 30\%$) повышает коэффициент полезного действия установки в $2,5 \div 3$ раза, снижение класса пожароопасности установки и улучшение санитарно-гигиенических условий для испытателей происходит вследствие замены керосина на электрический ток, использование которого позволяет более точно регулировать подъем температуры на поверхности нагревателей электропанели сопротивления.

Выполнен проект установки для теплофизических исследований и испытания плоских изделий на огнестойкость; рабочая поверхность электропанели сопротивления закрытого типа имеет размеры в плане 500×500 мм; теплоизоляционная футеровка из легкого бетона плотностью до 700 кг/м³ имеет толщину $160 \div 180$ мм; электропанель сопротивления со стороны рабочей поверхности оборудована проволочным нагревателем зигзаг, втпленным в тонкий слой жаростойкого бетона на тонкомолотом керамзите и/или на шамоте; в процессе калибровки ($\tau_{ис} = 90$ мин) и теплового воздействия на контрольную зону образца изделия (ϑ_{ex} , °C), создают температурный режим испытательного теплового воздействия, описываемого уравнением (3).

Толщина теплоизоляционной футеровки ($H_{фут}$, мм) электропанели сопротивления определена по аналитическому уравнению (4).

Пример 1. Дано: Теплоизоляционная футеровка электропанели выполнена из керамзитобетона плотностью $\rho_0 = 1000$ кг/м³ на керамзитовом песке, коэффициент термодиффузии легкого бетона $D_{BT} = 16,5$ мм²/мин; предельная температура на необогреваемой поверхности футеровки $T_u = 60$ °C; длительность калибровки $\tau_{ис} = 90$ мин. Определить толщину теплоизоляционной футеровки $H_{фут}$, мм.

Решение. Толщина теплоизоляционной футеровки ($H_{фут}$, мм) вычислена по уравнению (4):

$$H_{фут} = 40 \cdot D_{BT} \cdot \tau_{ис}^{0,5} / T_u^{0,9} = 40 \cdot 16,5 \cdot 90^{0,5} / 60^{0,9} = 157 \text{ мм (16 см)}.$$

Пример 2. Дано: Допускаемая величина электрического тока $I_{доп} = 5$ А; диаметр нихромовой проволоки (при $t=700$ °C) $d_n = 0,65$ мм; сечение нихромовой проволоки $S_n = 0,332$ мм²; удельное сопротивление нихромовой проволоки

$$\rho_t = 1,1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

Определить активную длину нихромовой проволоки для нагревательной панели сопротивления мощность $P_n = 1000$ Вт при напряжении в сети

$$U_c = 220 \text{ В}.$$

Решение. 1) Допускаемая величина электрического тока (I , А) определена по уравнению (5):

$$I = P_n / U_c = 1000 / 220 = 4,55 \text{ А}$$

2) Омическое сопротивление нихромовой проволоки (R_n , Ом) вычислено по уравнению (6):

$$R_n = U_c / I = 220 / 4,55 = 48,35 \text{ Ом}$$

3) Длина нихромовой проволоки активной зоны (l_a , м) вычислена по уравнению (7):

$$l_a = S_n \cdot R_n / \rho_t = 0,332 \cdot 48,35 / 1,1 = 14,15 \text{ м}$$

Подвеску электропанели сопротивления осуществляют с помощью стальной рамы, содержащей продольные пружины из уголков проката и поперечных пластин, сваренных заподлицо и впритык к перьям уголков проката.

Электропанель сопротивления оборудуют стендом, который содержит предохранители, выключатель, вольтметр, амперметр, автотрансформатор, контурные термодары, подключенные к самопишущему электронному потенциометру или к милливольтметру.

Контактный нагрев теплопроводностью контрольной зоны образца осуществляют следующим образом. Сначала к электропанели плотно прижимают рабочей поверхностью испытуемый образец. Далее включают в сеть электропанель сопротивления и устанавливают требуемую температуру нагрева рабочей поверхности электропанели в заданные промежутки времени с помощью реле-регулятора температуры с термодарой (диапазон измерения от 0 °C до +1300°C). Изменения температуры нагрева рабочей поверхности (ϑ_{ex} , °C) электропанели сопротивления по заданной программе испытания образца изделия на огнестойкость длительно ($\tau_{ис}$, мин) по уравнению (3).

Следовательно, предложена более легкая, надежная, компактная, безопасная и экономичная испытательная установка с использованием в качестве нагревателя испытуемого образца изделия плоскую электропанель сопротивления.

В Академии строительства и архитектуры СамГТУ подготовлен проект установки для теплофизических исследований и испытания плоских изделий на огнестойкость (Самара, 2023 г).

Библиографический список

1. Бартелели Б., Крюппа Ж.. Огнестойкость строительных конструкций. / Пер. с фран. – М., Стройиздат, 1985. – 216 с. (п. 3.5. Нагрев бетонных элементов, с. 66÷77).
2. Бушев В.П., Пчелинцев В.А., Федоренко В.С., Яковлев А.И. Огнестойкость зданий – М., Стройиздат, 1970, – 261 с. (п. 2. Установки для испытания на огнестойкость. Установка для теплофизических исследований; с. 51).
3. Закон №123-ФЗ (изм. 2017 г.) Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (гл.5. Классификация пожароопасных и взрывоопасных зон).
4. Ильин Н.А., Панфилов Д.А.. Оценка огнестойкости проектируемых железобетонных конструкций зданий: Монография. СамГТУ. – Самара, 2017,



–186 с. (1. Теория огнестойкости железобетонных конструкций; 1.8. Показатель условий нагрева толщины защитного слоя бетона, с.85).

5. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Мордовский С.С.. Сопротивления строительных конструкций зданий в условиях пожара СамГТУ (АСиА) – Самара, 2018, 71 с.

6. Ильин Н.А. Техническая экспертиза зданий, поврежденных пожаром. – М., Стройиздат, 1983. –200 с. (7. Оперативное испытание свойств бетона, с. 31).

7. Испытательная техника. Справочник. / под ред. В.В.Клюева, – 1982, кн. 2, –560 с. (гл.24. Температурные камеры к машинам для механических испытаний материалов. Методы нагрева. Элементы электрических печей, с.281-282).

8. Научно-технический прогресс в пожарной охране / Юрченко Д.И., Баратов А.Н., Яковлев А.И. и др. –

М., Стройиздат, 1987. –386 с. (п.2.6. Огнестойкость строительных конструкций зданий, с. 96-105).

9. Романенков И.Г., Левитес Ф.А.. Огнезащита строительных конструкций. – М., Стройиздат, 1991. – 320 с. (п.3.3. Методы испытаний огнезащитных материалов и конструкций, с.97-115).

10. Пожаро-, взрывоопасность веществ и материалов. Справ., изд. в 2 кн., кн. 1/ Баратов А.Н., Корольченко А.Я. и др. – М., Химия, 1990. – 496 с. (статьи: керосин; метан).

11. Руководство по испытанию строительных конструкций на огнестойкость. – М., ВНИИПО, 1980. – 52 с. (п. 4.2. Установки для испытания. Рис. 9., 10. Установка для теплофизических испытаний, с. 24-26).

12. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. ГОСТ 30247.0 – 84. (п. 5. Стендовое оборудование).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 05.06.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 05.06.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья
УДК 691.32:666.972
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5 Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_3_80

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МИКРО- И НАНО-КРЕМНЕЗЕМОМ

© Авторы 2023
SPIN-код: 4265-7935
AuthorID: 331336
ORCID 0000-0002-8520-4453
ResearcherID: AAB-3899-2021
Scopus ID: 57076182100
SPIN-код: 9704-3002
AuthorID: 1004336
ORCID 0000-0003-0184-5489

SPIN-код: 1654-0074
AuthorID: 713134
ORCID 0000-0001-7437-1128
ResearcherID: AGW-0849-2022
Scopus ID: 57208102141
SPIN-код: 3157-2314
AuthorID: 1206838
ORCID 0009-0001-0927-656X

Ильина Лилия Владимировна
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

Тацки Людмила Николаевна
кандидат технических наук, доцент
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, Новосибирск, e-mail: stf@sibstrinl.ru)

Молодин Владимир Викторович
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, Новосибирск, e-mail: molodin@sibstrin.ru)

Колесова Татьяна Дмитриевна
студент
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, Новосибирск, e-mail: t.kolesova@sibstrin.ru)

Аннотация. В работе представлены результаты модифицирования легких бетонов на пеностеклокристаллическом заполнителе за счет одновременного введения добавок микро- и нанокремнезема. Основная их роль может заключаться в связывании портландита и уплотнении твердеющей композиции, особенно переходной зоны от раствора к заполнителю.

Исследовано влияние нанокремнезема в количестве 0,001-0,025 % мас. и микрокремнезема – 4-12 % мас. от расхода портландцемента. Использовался микрокремнезем МК-85 производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» и кремнезоль – производства научно-технического центра «Компас» (г. Казань). Вяжущим веществом являлся портландцемент ЦЕМ I 42,5Б. В качестве легкого заполнителя использовался ГПСКМ «КЕРВУД». Развитая шероховатая поверхность заполнителя приводит к улучшению адгезии цементного камня с ним. Изучение микроструктуры гранул показало, что каждая пора окружена спекшейся оболочкой с мелкопористой структурой. Такая структура заполнителя приводит к низкому водопоглощению гранул и, следовательно, к высокой морозостойкости композита, изготовленного на его основе.

Путем математического планирования двухфакторного эксперимента на трех уровнях установлены оптимальные дозировки добавок и их влияние на свойства легкого бетона (пределы прочности при сжатии, изгибе и среднюю плотность), твердевшего в условиях тепло-влажностной обработки. В результате модификации легкого бетона на пеностеклокристаллическом заполнителе получен конструкционно-теплоизоляционный бетон с прочностью при сжатии 9,3 - 14,6 МПа и средней плотностью 958 - 1014 кг/м³.

Ключевые слова: легкие бетоны; пеностеклокристаллический заполнитель; микрокремнезем; нанокремнезем; тепло-влажностная обработка; прочность при сжатии и изгибе

Для цитирования: Легкие бетоны с пеностеклокристаллическим заполнителем, модифицированные микро- и нанокремнеземом / Л.В. Ильина, Л.Н. Тацки, В.В. Молодин, Т.Д. Колесова // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 80-85. doi:10.51608/26867818_2023_3_80.



Original article

LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH FOAM GLASS FILLER, MODIFIED MICRO AND NANO SILICA

© The Author(s) 2023

ILINA Liliia Vladimirovna

doctor of technical sciences, professor
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk, e-mail: nsklika@mail.ru)

TATSKI Ludmila Nikolaevna

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

MOLODIN Vladimir Viktorovich

doctor of technical sciences, professor
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk, e-mail: molodin@sibstrin.ru)

KOLESOVA Tatyana Dmitrievna

student
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk, e-mail: t.kolesova@sibstrin.ru)

Abstract. The paper presents the results of modifying lightweight concretes on foam-glass-crystalline aggregate due to the simultaneous introduction of additives of micro- and nanosilica. Their main role may be to bind portlandite and compact the hardening composition, especially the transition zone from mortar to aggregate.

The effect of nanosilica in the amount of 0.001-0.025% wt. and microsilica - 4-12% wt. from the consumption of Portland cement. Microsilica MK-85 produced by OAO Kuznetsk Ferroalloys and silica sol produced by the Scientific and Technical Center Compass (Kazan) were used. The binder was Portland cement CEM I 42.5B. The KERWOOD GPSKM was used as a light filler. The developed rough surface of the filler leads to an improvement in the adhesion of the cement stone with it. The study of the microstructure of the granules showed that each pore is surrounded by a sintered shell with a finely porous structure. Such a structure of the filler leads to low water absorption of the granules and, consequently, to high frost resistance of the composite made on its basis.

By mathematical planning of a two-factor experiment at three levels, the optimal dosages of additives and their effect on the properties of lightweight concrete (compressive strength, bending and average density), hardened under heat-moisture treatment, were established. As a result of the modification of lightweight concrete on foam glass-crystalline aggregate, structural and heat-insulating concrete was obtained with a compressive strength of 9.3–14.6 MPa and an average density of 958–1014 kg/m³.

Keywords: lightweight concrete; foam glass-ceramic aggregate; microsilica; nanosilica; heat and moisture treatment; compressive and bending strength

For citation: Lightweight concrete with foam glass filler, modified micro and nano silica / L.V. Ilina, L.N. Tatski, V.V. Molodin, T.D. Kolesova // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 80-85. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_80.

Введение

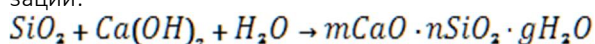
Известно, что современные бетоны в большинстве своем содержат минеральные добавки-модификаторы. В зависимости от дисперсности их принято разделять на добавки-разбавители цемента (зола-унос, молотый доменный гранулированный шлак и др.) и добавки-уплотнители структуры бетона (дисперсные порошки горных пород, микрокремнезем, метаксаолин и др.). Размер частиц последних, может быть, в 100 раз меньше цементных, удельная поверхность - 30000 м²/кг. [1-2]. Основная роль микрокремнезема и метаксаолина заключается в связывании портландита и уплотнении твердеющей композиции, особенно переходной зоны от рас-

творы к заполнителю. Авторы [3-5] считают, что микрокремнезем и метаксаолин, вступая в реакцию с портландитом, выделяемым при гидратации цемента, способен повышать прочность бетона, причем ограничивающим фактором является прочность заполнителя.

В публикации [6] представлена структура цементного камня без добавки и с добавкой 10 % микрокремнезема (МК) в возрасте 28 суток. В бездобавочном составе обнаружены высокоосновные гидросиликаты размером 10-15 мкм и эттрингит (3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·31H₂O). Структура цементного камня с МК представлена в основном низкоосновными гидросиликатами кальция размером около



0,1-0,2 мкм, имеющими высокую прочность [7]. Авторы [5; 8] установили, что введение МК повышает прочность при сжатии мелкозернистого бетона. Испытание образцов размером 40×40×160 мм в 28-суточном возрасте нормального твердения показало следующие результаты: добавка 12 мас. % микрокремнезема МК повысила прочность при сжатии на 55 %. Изменилась микроструктура материала: появились кристаллы гидросиликатов кальция игольчатого строения, существенно снизилась пористость [8]. Положительное влияние МК в составе бетона на его прочность является следствием реакции пуццоланизации:



С 2006 г. в России начали появляться публикации по нанотехнологиям, причем наиболее часто в нанокompозитах на основе портландцемента используется нанокремнезем. Нано-SiO₂ содержит кремнезем в аморфном состоянии. Реакционная способность частиц нанокремнезема (НК) во многом зависит от содержания в них аморфной фазы. В добавке Таркосил ее содержится 97-99 % [9], а в Лэйксил НТ-40 – 40 % по массе [10]. Эксперименты, выполненные авторским коллективом [10] показали, что добавка Лэйксил НТ-40 при концентрации 0,001 мас. % от расхода цемента, позволила повысить прочность раствора при сжатии на 31 % в возрасте 28 суток. Повышение дозировки добавки до 0,005 % привело к снижению прочности до уровня бездобавочного состава. При этом прочность при изгибе, при изменении дозировки добавки, изменялась незначительно.

В публикации [11] установлено, что при концентрации кремнезольей от 15 до 30 мас. % SiO₂ максимальная прочность цементного камня достигается при дозировке 0,001 мас. % от расхода цемента. Эта же оптимальная дозировка добавки указана авторами [10]. Установлено что кремнезоль повышает свою устойчивость во времени в присутствии соединения K₄[Fe(CN)₆]. Эту зольсодержащую композицию вводили в цементную пасту в количестве 0,75 % от массы цемента. При этом прочность при сжатии в возрасте 28 суток возросла на 46 %, морозостойкость более чем в 2 раза, водонепроницаемость в 1,75 раза [12]. При этом также уменьшаются усадка и водопоглощение. Все это актуально и может использоваться в сибирских условиях при получении дорожных бетонов.

Нано-SiO₂ имеет размер частиц 10-20 нм, его присутствие в составе бетона обеспечивает более однородную его структуру по сравнению с микрокремнеземом. Наночастицы заполняют пустоты C-S-H геля, связывая их между собой. В результате реакции Ca(OH)₂ с нанокремнеземом появляются новообразования меньшего размера и в меньшем количестве [13]. В публикации [14] приведена микро-

структура легкого нанобетона при увеличении в 200 раз. Установлено, что большинство пор является закрытыми при довольно высокой пористости, составляющей 8-16 %.

Материалы и методы исследований

В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Б Топкинского цементного завода. Свойства вяжущего соответствуют требованиям ГОСТ 31108 – 2020 «Цементы общестроительные. Технические условия» и ГОСТ 30515 – 2013 «Цементы. Общие технические условия». Физические и прочностные свойства цемента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Б

Наименование показателя	Нормативное значение	Фактическое значение
Тонкость помола (остаток на сите № 008,%)	не нормируется	8,8
Удельная поверхность, м ² /кг	не нормируется	307
Сроки схватывания, мин	начало	не ранее 60
	конец	не нормируется
Равномерность изменения объема, мм	не более 10	0,8
Нормальная плотность, %	не нормируется	26
Предел прочности в возрасте 28 суток	на сжатие, МПа	42,5-62,5
	на изгиб, МПа	не нормируется
Предел прочности на сжатие после ТВО, МПа	более 27	39,5

В качестве заполнителя для легкого бетона использовалось калиброванное гранулированное пеностекло марки ГПСМК (гранулированный пеностеклокристаллический материал) «КЕРВУД». Химический состав и основные характеристики гранулированного пеностекла представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

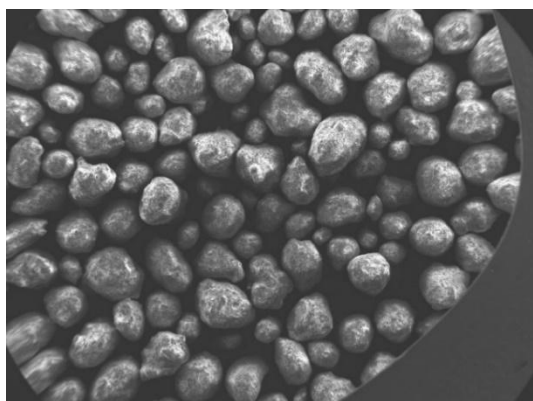
Таблица 2 – Химический состав гранулированного пеностекла «КЕРВУД»

Оксид	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Остальное
Масс, %	69,9	13,2	9,8	4,1	1,7	1,3

Таблица 3 – Основные свойства гранулированного пеностекла «КЕРВУД»

Характеристика	Фракционный состав, мм	
	0,3-0,6	0,6-1,25
Марка по насыпной плотности	380	330
Насыпная плотность, кг/м ³	380±30	330±30
Теплопроводность в сухом состоянии (при +25 °С), Вт/(м·К)	не более 0,08	не более 0,07
Прочность при сдвигании в цилиндре, МПа	не менее 2,5	не менее 1,3

На рисунках 1 и 2 представлены внешний вид, поверхность и микроструктура заполнителя (гранул пеностекла). Поверхность заполнителя развита, шероховатая. На поверхности гранул (рис. 1б) видны поры, что может привести к повышению сцепления заполнителя с цементным камнем. На рисунке 2 видно, что каждая пора окружена спекшейся оболочкой с мелкопористой структурой. Такая структура заполнителя приводит к низкому водопоглощению гранул и, следовательно, к возможно высокой морозостойкости композита, изготовленного на его основе.



а)



б)

Рис. 1 – а) внешний вид заполнителя; б) поверхность заполнителя, $\times 10$

В качестве модифицирующих добавок использованы микрокремнезем МК-85 – побочный продукт при производстве кремния и ферросилиция, производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» и кремнезоль – коллоидный водный раствор наночастиц кремне-

зема производства научно-технического центра «Компас» (г. Казань). В таблице 4 приведен химический состав микрокремнезема МК-85.

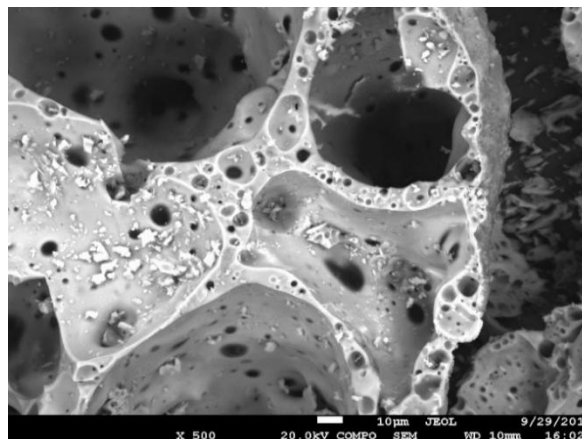


Рис. 2 – Микроструктура гранул пеностекла, $\times 500$

Таблица 4 – Химический состав микрокремнезема МК-85

Содержание оксидов и химических элементов, мас. %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	C	S
93,2	0,74	0,68	0,81	0,91	0,79	1,38	1,20	0,29

Проявляющаяся на рентгенограмме в области углов 20-30 «горбушка» (рис. 3) показывает, что микрокремнезем в основном представлен аморфной фазой. Кристаллическая фаза проявляется интенсивным отражением с $\alpha_2 = 2,52$ и другими менее значимыми пиками. На рентгенограмме микрокремнезема кристаллической фазы значительно меньше.

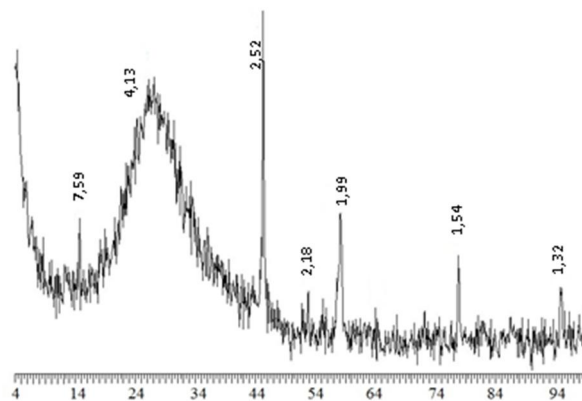


Рис. 3 - Рентгенограмма микрокремнезема МК-85

Сочетание высокой удельной поверхности частиц с их аморфной структурой придает микрокремнезему способность активно реагировать с гидроксидом кальция, выделяющимся при твердении цемента, образуя гидросиликаты, повышающие прочность композиции.

В таблице 5 приведены основные характеристики добавки «Лэйксил 40» (по данным производителя).



Таблица 5 -Свойства «ЛэйксилНТ-40»

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	pH, ед. pH	9,6 - 10,7
2	Концентрация диоксида кремния, мас. %	39 - 41
3	Кинематическая вязкость, сСт, не более	15,0
4	Плотность, кг/м ³	1296-1310

Содержание наночастиц в добавке определялось с помощью лазерного дифракционного анализатора HORIBALA-950. Установлено, что основной размер мицелл оксида кремния составляет 60-100 нм (рис.4).

Исследования выполнялись на легких бетонах состава (кг): цемент – 600, ГПСМ – 436, вода – 370. Добавка микрокремнезема изменялась от 4 до 12 мас. % от расхода цемента, а нанокремнезема от 0,001 до 0,025 мас. %. В работе использован метод математического планирования экспериментов. В таблице 7 приведены значения факторов варьирования.

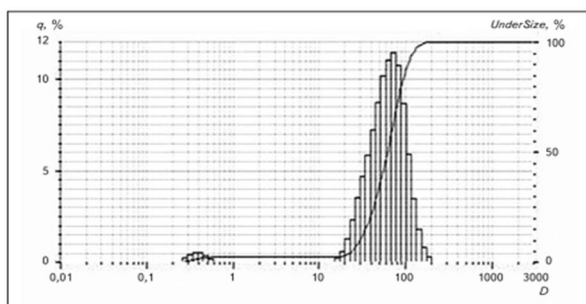


Рис. 4 – Содержание nano-частиц в добавке ЛейксилНТ-40

Таблица 6 – Значения факторов варьирования

Наименование фактора	Условное обозначение	Уровень варьирования факторов		
		-1	0	+1
Массовая концентрация нанокремнезема, масс % от ПЦ	X ₁	0,001	0,005	0,025
Количество добавки микрокремнезема, масс % от ПЦ	X ₂	4	8	12

Формовались образцы-призмы размером 40x40x160 мм, которые твердели в условиях тепло-влажностной обработки (ТВО) по режиму: 3 часа подъем температуры до 80 °С, изотермическая выдержка 6 час, охлаждение – 2 часа.

Результаты исследования

Результаты испытаний приведены в таблице 7.

Приведенные в таблице 7 результаты показывают, что наибольшей прочности при сжатии (14,6 МПа) удалось достичь при добавлении МК 4 мас. % и НК 0,001 мас. % от расхода портландцемента. Данное упрочнение объясняется пуццолонизирующей способностью добавок. Однако повышение дозировки нано-SiO₂ от 0,001 до 0,005 % снизило прочность при сжатии легкого бетона, поэтому необходимо строгое соблюдение установленного оптимума. 25-кратное повышение дозировки НК способствует повышению прочности, однако ее величина не достигает ранее полученного оптимума.

Таблица 7 – Влияние количества добавок на свойства легкого бетона

Количество добавки, мас. %		Прочность легкого бетона, МПа		Средняя плотность, кг/м ³
нано-кремнезем	микро-кремнезем	прочность при сжатии	прочность при изгибе	
-	-	9,2	0,4	998
0,001	4	14,6	0,4	1014
	8	10,3	0,4	989
	12	10,2	0,4	999
0,005	4	9,7	0,5	990
	8	9,3	0,4	983
	12	11,5	0,5	987
0,025	4	12,7	0,4	982
	8	10,3	0,5	958
	12	10,7	0,4	970

Анализ экспериментальных данных показал, что прочность при изгибе для отдельных составов изменялся от 0,4 до 0,5 МПа, т.е. на 25 % не коррелируя при этом с прочностью при сжатии (табл. 7). Следует также отметить, что существенные различия в прочности при сжатии слабо сказывались на изменении средней плотности легкого бетона. Вместе с тем следует отметить, что средняя плотность снижается при увеличении количества НК. Для снижения средней плотности оптимальным количеством МК является 8 мас. % от портландцемента.

Выводы

1. Развитая шероховатая поверхность пено-стеклогристаллического заполнителя может привести к улучшению адгезии цементного камня с ним. Изучение микроструктуры гранул показало, что каждая пора окружена спекшейся оболочкой с мелкопористой структурой. Такая структура заполнителя приводит к низкому водопоглощению гранул и, следовательно, к возможно высокой морозостойкости композита, изготовленного на его основе.

2. Максимального упрочнения легкого бетона удалось достичь при введении 4 мас. % - микрокремнезема; 0,001 мас. % – нанокремнезема от массы вя-



жущего. Увеличение предела прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом составило 59 %, а полученная абсолютная величина прочности после ТВО – 14,6 МПа.

3. Поскольку повышение дозировки нанокремнезема от 0,001 до 0,025 % приводит к снижению прочности при сжатии легкого бетона, необходимо строгое соблюдение установленного оптимума.

4. Предел прочности при изгибе для отдельных составов изменялся на 25 % не коррелируя при этом с прочностью при сжатии. Следует также отметить, что существенные различия в прочности при сжатии слабо сказывались на изменении средней плотности образцов. Причина этого требует исследования микроструктуры и фазового состава образцов с микро- и нанодобавками.

5. В результате модификации легкого бетона на пеностеклокристаллическом заполнителе получен конструкционно-теплоизоляционный бетон с прочностью при сжатии 9,3 - 14,6 МПа и средней плотностью 958 - 1014 кг/м³.

Библиографический список

1. Nguyen D.V.Q., Bazhenov Yu.M., Aleksandrova O.V. Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete // Vestnik MGSU. 2019. Т. 14. №1(124). С. 102-117. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.102-117
2. Bazhenov Yu.M., Murtazaev S.-A.Yu., Alaskhanov A.H., Saydumov M.S., Bataev D.K-S., Murtazaeva T.S.A. High-strength concretes based on anthropogenic raw materials for earthquake resistant high-rise construction // Engineering Solid Mechanics. 2021. Т. 9. №3. С. 335-346. DOI: 10.5267/j.esm.2021.1.004
3. Оценка физико-химической эффективности минеральных добавок различного состава в цементных системах / Т. А. Низина, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 5(14). – С. 41-47. – DOI 10.51608/26867818_2021_5_41. – EDN EXPXRE.
4. Гувалов А. А., Аббасова С. И., Кузнецова Т. В. Улучшение структуры высокопрочного бетона с применением модификаторов // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 78-80.

5. Васильевская Н. Г., Енджиевская И. Г., Дружинкин С. В. и др. Структурные факторы управления прочностью высокопрочного монолитного бетона // Современные факторы управления прочностью высокопрочного монолитного бетона. 2012. № 4. С. 151-157.

6. Потапов В. В., Горев Д. С. Сравнительные результаты повышения прочности бетона вводом нанокремнезема и микрокремнезема // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 9. С. 98-102. DOI: 10.17513/snt.37176

7. Ilin L. V., Mukhina I. N., Semenova M. M. Hardening cement conglomerates by mining industries waste // Solid State Phenomena. 2021. Т. 316. Р. 1061-1066. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.316.1061

8. Ильина Л. В., Хакимулина С. А., Кадоркин Д. А. Влияние дисперсных минеральных добавок на прочность мелкозернистого бетона // Фундаментальные исследования. 2017. № 4-1. С. 34-38.

9. Демьяненко О. В., Копаница Н. О., Саркисов Ю. С. Исследования свойств наноразмерного диоксида кремния и его влияние на свойства цементного камня // Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении. Международный сборник научных трудов. Стройсиб – 2016. Новосибирск. НГАУ. 2016. С. 121-124. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-147-156.

10. Ильина Л. В., Туляганов А. К., Литвинов М. Е. Влияние кремнезема на прочность цементных растворов // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации». Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 2021. С. 81-85.

11. Красникова Н. М., Морозов Н. М., Кашапов Р. Р. Влияние кремнезоля на фазовый состав гидратированного цемента с полифункциональной добавкой // Известия КГАСУ. Строительные материалы и изделия. 2016. № 1(35). С. 172-178.

12. Хрусталева Б. М., Яглов В. Н., Ковалев Я. Н., Романюк В. Н. и др. Наномодифицированный бетон // Наука и техника. 2015. № 6. С. 3-8.

13. Попов М. Ю., Петрунин С. Ю., Ваганов В. Е., Закиревская Л. В. Легкие бетоны на основе пеностекла, модифицированные наноструктурами // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 6. С. 41-45.

14. Пономарев А. Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 6. С. 25-33. DOI: 10.18720/MCE.8.1

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 12.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 12.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья
УДК 691.5
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_3_86

О СПОСОБАХ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА САМООЧИЩЕНИЯ У ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Авторы 2023
SPIN-код: 6624-8950
AuthorID: 1158227
Scopus ID: 57213815658

КИЙКО Полина Игоревна
аспирант
*Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
(Россия, Челябинск, e-mail: mspolly22@mail.ru)*

SPIN-код: 6037-7438
AuthorID: 473125
ORCID 0000-0002-4288-2115
ResearcherID: K-8568-2014
Scopus ID: 6508381737
SPIN-код: 1977-4377

ЧЕРНЫХ Тамара Николаевна
доктор технических наук, доцент
*Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
(Россия, Челябинск, e-mail: chernykhnt@susu.ru)*

AuthorID: 616561
ORCID 0000-0001-7621-3502
ResearcherID: O-3255-2014
Scopus ID: 55626462000
SPIN-код: 4265-7935

СОЗЫКИН Сергей Анатольевич
кандидат физико-математических наук, доцент
*Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
(Россия, Челябинск, e-mail: sozykinsa@susu.ru)*

AuthorID: 331336
ORCID 0000-0002-8520-4453
ResearcherID: AAB-3899-2021
Scopus ID: 57076182100

Ильина Лилия Владимировна
доктор технических наук, профессор
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)*

Аннотация. В статье описаны существующие методы измерения самоочистки фотокаталитическиактивных строительных материалов, которые разделены на три основные группы: по изменению окраски органического красителя на поверхности, по изменению контактного угла капли воды на поверхности, покрытой органическим веществом, по изменению концентрации определенных веществ в водных или воздушных средах. Наиболее подробно рассмотрены первые две группы методов. Описаны основные преимущества и недостатки существующих методов испытаний для области строительного материаловедения. Цель – сравнительный анализ способности к самоочистке материалов на основе минеральных вяжущих различными методами, а именно по разложению красителей родамина Б и метиленового синего, а также по изменению контактного угла капли воды на поверхности, покрытой олеиновой кислотой. По результатам исследования сделаны выводы о необходимости учитывать следующие факторы при измерении эффективности самоочистки строительных материалов: характеристики материала (тип вяжущего, цвет, структура поверхности, пористость), условия облучения (мощность, интервал длин волн) и характеристики веществ-«загрязнителей», в том числе фотохимические. Для получения достоверных результатов фотокаталитической активности важно использовать не менее двух различных методов.

Ключевые слова: фотокаталитические материалы; самоочистка; методы оценки фотокаталитической способности; гипсо-цементно-пуццолановое вяжущее

Для цитирования: О способах измерения эффективности процесса самоочистки у фотокаталитическиактивных строительных материалов / П.И. Кийко, Т.Н. Черных, С.А. Созыкин, Л.В. Ильина // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 86-92. doi:10.51608/26867818_2023_3_86.



Original article

METHODS FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF THE SA-CLEANING PROCESS IN PHOTO-CATALYTICALLY ACTIVE BUILDING MATERIALS

© The Author(s) 2023

KIYKO Polina Igorevna

PhD Candidate

South Ural State University (National Research University)

(Russia, Chelyabinsk, e-mail: mspolly22@mail.ru)

CHERNYKH Tamara Nikolaevna

doctor of technical sciences, associate professor

South Ural State University (National Research University)

(Russia, Chelyabinsk, e-mail: chernykh@susu.ru)

SOZYKIN Sergey Anatolievich

candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

South Ural State University (National Research University)

(Russia, Chelyabinsk, e-mail: sozykinsa@susu.ru)

ILINA Liliia Vladimirovna

doctor of technical sciences, professor

Novosibirsk state University of architecture and civil engineering

(Russia, Novosibirsk, e-mail: nsklika@mail.ru)

Abstract. The article describes the existing methods for measuring the self-cleaning of photocatalytically active building materials. All methods are divided into three main groups: changing the color of the organic dye on the surface; changing the contact angle of a water drop on a surface with an organic coating; changing the concentration of certain substances in water or air environments. The first two groups of methods are described in detail. The main advantages and disadvantages of existing test methods in the field of building materials' science are described. The purpose of the experiment is a comparative analysis of the self-cleaning ability of materials based on mineral binders by various methods, according to the decomposition of the dyes of rhodamine B and methylene blue, and by changing the contact angle of a water drop on a surface coated with oleic acid. According to the results of the study, the following factors should be taken into account: material characteristics (type of binder, color, structure, porosity); irradiation conditions (power, wavelength interval); and characteristics, including photochemical characteristics, of "pollutant" substances. To obtain qualitative results of photocatalytic activity, it is important to use at least two different methods.

Keywords: photocatalytic materials; self-cleaning; test methods for photocatalytic efficiency; gypsum-cement-pozzolanic binder

For citation: About methods for measuring the efficiency of the sa-cleaning process in photo-catalytically active building materials / P.I. Kiyko, T.N. Chernykh, S.A. Sozykin, L.V. Iliina // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 86-92. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_86.

Введение. Загрязненность и загазованность городов являются острыми проблемами современности. Внедрение "умных" материалов в строительстве может стать важным шагом к созданию городов будущего, где будет возможно обеспечение чистой и комфортной среды при минимальных затратах на ремонт и очистительные работы. Особенно востребованными становятся строительные материалы со свойствами самоочищения. Поверхность таких материалов сохраняет свой естественный цвет и остается чистой длительное время. Наиболее перспективным направлением создания самоочищающихся материалов является использование фотокаталитически активных добавок в составе. Такие добавки под действием ультрафиолетового излучения запускают процесс фотокатализа на поверхности материала, что способствует разложению органических загряз-

нителей, при этом повышается гидрофильность поверхности материала [1-4].

Процесс фотокатализа сложен в моделировании и в наблюдении. Для наблюдения процесса самоочищения материалов в настоящее время существует некоторое количество способов, многие из которых описаны в стандартах. Большинство стандартов написано для очистки воды и воздуха, т.к. очистка с помощью фотокатализа является перспективным решением острых экологических проблем [5-6]. При этом данные стандарты либо не подходят, либо требуют доработки для использования их в области строительного материаловедения.

Одним из первых стандартов, разработанных именно для исследования очищения поверхности материалов, был UNI 1259-2008 или родамин-тест. Также широкое распространение и значимость полу-



чил стандарт ISO 27448-2009 по определению изменения контактного угла у фотокаталитически активных материалов. Данные стандарты стали базой в области исследования эффективности самоочищения строительных материалов [7-8].

В России единственным документом является ГОСТ Р 57255-2016 «Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия», где описаны два способа определения самоочищения материалов, один из способов аналогичен методу из стандарта ISO 27448-2009.

После анализа существующих нормативных документов, а также проведенных экспериментов с использованием различных методов исследования в данной области определены три основные группы способов определения эффективности самоочищения материалов:

- по изменению окраски органического красителя на поверхности материала под действием УФ-света;

- по изменению контактного угла капли воды на облучаемой УФ-светом поверхности;

- по изменению концентрации молекул-загрязнителей в водных и воздушных средах с образцом под действием УФ-света.

Основным стандартом первой группы является UNI 1259-2016, в нем в качестве красителя используют родамин Б, сам метод часто называют родамин-тест. Эксперименты на основе разложения органических красителей, особенно родамина Б, используются исследователями очень часто. Основан этот способ на том, что на поверхность образца наносят краситель, фиксируют фотографированием, далее облучают определенное количество времени, после чего снова фиксируют изменение цвета фотографированием. Согласно этому стандарту после 4 часов облучения изменение цветового фона красителя на поверхности материала должно составлять не менее 20%, а после 26 часов не менее 50%, в таком случае исследуемая поверхность будет считаться фотокаталитически активной.

У данной группы способов основное преимущество заключается в сравнительной простоте, результаты представлены визуально и количественно. Измерение этим способом требует обеспечения постоянных внешних условий, также на результаты могут повлиять условия фотографирования, условия нанесения красителя, структура образцов, цвет образцов, мощность лампы-облучателя, концентрация красителя и другое. Кроме этих параметров, выделены несколько наиболее важных факторов в данной группе методов, которые необходимо учитывать при проведении испытаний. Во-первых, обычно для расчета используют одну цветовую координату, соответствующую родамину Б (координата а) или метиловому синему (координата b), т.к. подразумева-

ется, что исследуемый материал имеет нейтральный цвет. При этом нет инструкций для образцов разных цветов. В исследованиях процессов самоочищения цветных материалов необходимы изменения в расчетных формулах. Например, для исследования керамических образцов красноватых оттенков используются все цветовые координаты [9]. Использование всех цветовых координат при расчетах эффективности цветных материалов кажется рациональным, т.к. он помогает учитывать влияние исходного цвета материала, степень контраста между цветом материала и красителем, а также помогает минимизировать погрешности при фотографировании. Во-вторых, органические красители, используемые в качестве «загрязнителей» в тестах на самоочищение способны к процессу сенсibilизации. Процессы сенсibilизации и фотокатализа могут идти параллельно, соответственно, полученные результаты по эффективности разложения красителя могут отражать не истинную картину фотокаталитической активности материала, а искаженную в сторону большего эффекта [10-11]. Поэтому в экспериментах важно использовать оборудование для облучения образцов со светом тех длин волн, к которым «чувствителен» фотокатализатор, но которые не способны возбудить краситель. В-третьих, органические красители имеют собственную определенную степень разложения под действием ультрафиолета из-за процесса прямого фотолиза – деградации цвета красителя без фотокатализатора. По результатам разных исследований доля фотолиза составляет около 30% за стандартное время облучения по родамин-тесту (26 часов).

Вторая группа методов исследования способности к самоочищению материалов основана на разложении органических соединений на поверхности образца, определяемом по изменению контактного угла между каплей воды и поверхностью. Такой способ описан в российском стандарте ГОСТ Р 57255-2016 «Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия». Способ заключается в том, что олеиновую кислоту наносят на образец, далее облучают, органические молекулы кислоты подвергаются разложению в процессе фотокатализа, соответственно, количество кислоты уменьшается, капля воды больше растекается по материалу, что регистрируется по уменьшению контактного угла. Этот способ также довольно наглядный, однако шероховатость образцов или доступная поверхность для активации фотокаталитической активности может сильно повлиять на значения эффективности самоочищения. Шероховатость влияет на площадь поверхности, это может прямо влиять на показатели эффективности разложения кислоты. В случае высокой шероховатости с крупной открытой пористостью часть кислоты на поверхности образца



может задерживаться в этих порах, оказываясь частично в тени от излучения и не подвергаясь разложению. В случае низкой шероховатости образцы могут иметь очень гладкую поверхность, тогда толщина слоя кислоты будет выше, а эффективность разложения при прочих равных условиях снизится [12].

Третий вид методов по изменению процессов самоочищения основан на разложении загрязнителей, находящихся в газовых или водных средах. Данный метод описан в международном стандарте ISO 22197-1-2016 с использованием синтетического воздуха с азотом в качестве загрязнителя. По российскому стандарту ГОСТ Р 57255-2016 «Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия» также используется азот. Способ основан на подсчете разложения (минерализации) оксидов азота. Для этого способа помимо УФ-облучателя необходимы система подачи испытательного газа, фотокаталитический реактор, газовый анализатор. Данный метод требует достаточного технического оснащения, также он менее нагляден в сравнении с предыдущими. Другим недостатком данной группы методов является сложность в оценке адсорбции и десорбции газов/взвешенных частиц среды на поверхности материала в открытых порах [11; 13].

Таким образом у всех существующих методов измерения эффективности самоочищения есть свои недостатки. Сложность процесса гетерогенного фотокатализа проявляется в практической сложности получения истинных результатов оценки фотокаталитической активности материалов.

Методология. Целью работы являлся сравнительный анализ результатов измерения способности к самоочищению строительных материалов на минеральных вяжущих различными способами.

В эксперименте участвовали образцы с разной фотокаталитической активностью и характеристиками. Образцы изготавливали на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего, они имели близкие значения плотности и пористости. Первый образец являлся контрольным и не содержал в себе фотокаталитически активных веществ. Второй образец дополнительно содержал в себе 4 % синтезированной фотокаталитически активной добавки с доказанной высокой эффективностью разложения загрязнителей [14]. Третий образец аналогичен по составу первому, но он содержит не добавленный фотокатализатор, а фотокаталитически активные примеси оксида титана и железа, изначально находящиеся в используемом гипсовом компоненте. Первые два образца имеют серый, а третий образец оранжевый цвет.

Образцы были испытаны тремя методами – по методу родамин-теста, по методу родамин теста с использованием в качестве красителя метиле-

вого синего, а также по методу разложения олеиновой кислоты по ГОСТ Р 57255-2016. Родамин Б и метиленовый синий имеют разные хромофоры, родамин Б – тиазиновый краситель, а метиленовый синий – ксентен. Необходимо отметить, что использование розового красителя на оранжевой поверхности было мало контрастно, а с использованием метиленового синего контраст между цветом образца и цветом красителя у всех образцов выше.

Для эксперимента сконструирован и собран ультрафиолетовый облучатель, который представляет собой плату со светодиодами с необходимой длиной волны, охлаждающий элемент (для отвода тепла) и блок управления. Характеристики облучателя: мощность $2,1 \pm 0,1$ мВт/см², длина волны светодиодов – 405 нм, площадь рабочей поверхности – 100 см².

Изготовлено три серии по 5 образцов-таблеток на основе гипсо-цементно-пуццоланового вяжущего диаметром 1,5 см, достигшие прочности 28 суток. Предварительная подготовка всех образцов заключалась в предварительном облучении в течение 24 часов для удаления осевших органических частиц.

Образцы окрашивали раствором красителя родамин Б концентрации $4 \cdot 10^{-4}$ моль/л в количестве 3,9 мл/см², оставляли в полной темноте на 6 часов при температуре 20 ± 2 °С и влажности $60 \pm 5\%$ до высыхания раствора красителя. Далее образцы помещали под УФ-лампу, по истечении 26 часов образцы фотографировали для регистрации изменения цвета, параметры фотографирования были всегда одинаковы (полная темнота, один статичный источник света – вспышка, настройки фотоаппарата: светочувствительность ISO400, фокусное расстояние $f/1,8$, баланс белого 4000, выдержка $1/250$ сек.). Измерение цвета поверхности производили с помощью программного обеспечения ImageJ по координатам RGB, которые конвертировали в систему CIELAB, получив цветовые координаты $L^* a^* b^*$, где L^* – светимость, a^* и b^* – координаты колориметрии, которые представляют собой измерение цветового тона в двумерной плоскости.

Также для серии из 5 образцов наносили краситель метиленовый синий в концентрации $3 \cdot 10^{-2}$ моль/л в количестве 3,9 мл/см², следующие шаги сделаны также, как в случае с первым экспериментом, фотографирование и обработка результатов аналогична.

Далее приведен способ расчета, основанный на расчетах исследователей цветных материалов [9], учитывающий все цветовые координаты, отличающийся тем, что для исключения влияния фотолиза поверхности образца учитываются цветовые координаты материала на каждом этапе фотографирования.



Изменение цвета между исходным цветом материала и цветом с нанесенным красителем рассчитывается по формуле:

$E_{исх} = \sqrt{(L_{исх} - L_0)^2 + (a_{исх} - a_0)^2 + (b_{исх} - b_0)^2}$,
где $L_{исх}, a_{исх}, b_{исх}$ – координаты в системе CIELAB исходного цвета материала на фотографии;

L_0, a_0, b_0 – координаты в системе CIELAB цвета окрашенной поверхности на фотографии сразу после нанесения красителя.

Изменение цвета между исходным цветом материала и цветом с нанесенным красителем после облучения в течении t часов рассчитывается по формуле:

$E_t = \sqrt{(L_{исх}^* - L_t)^2 + (a_{исх}^* - a_t)^2 + (b_{исх}^* - b_t)^2}$,
где $L_{исх}^*, a_{исх}^*, b_{исх}^*$ – координаты в системе CIELAB исходного цвета материала на фотографии после облучения в течении t часов;

L_t, a_t, b_t – координаты в системе CIELAB цвета окрашенной поверхности на фотографии после облучения в течении t часов.

Эффективность деградации цвета (%) равна:

$$R_E = \frac{|E_t - E_{исх}|}{E_{исх}} * 100$$

По ГОСТ Р 57255-2016 необходимо 200 мкл кислоты налить на материал и распределить от центра к краям на площади не менее (100 ± 2) см² с помощью материала из нерасплетающейся ткани. После нанесения кислоты и облучения УФ-светом поверхности происходит измерение контактного угла через равные промежутки времени, после того, как коэффициент вариации для трех последовательных измерений становится не более 10%, измерения завершают. Достичь равномерного покрытия кислотой поверхности материала из ГЦПВ оказалось затруднительно, кислота слишком быстро и неравномерно впитывалась в поверхность материала. Поэтому из-за высокой шероховатости и пористости данный способ был адаптирован под используемый материал. Принято решение о нанесении кислоты капельным способом на поверхность, в таком случае концентрация кислоты получается в разы больше, чем по ГОСТ Р 57255-2016, соответственно, использовать показатели стандарта (разложение не более 80 часов) невозможно. Таким образом, эксперимент не дает качественную характеристику (самоочищающийся материал или нет), а проводится только для сравнительного анализа.

Перед нанесением кислоты у всех образцов исходные значения контактных углов равны 60-75 градусов, что говорит о похожей структуре всех составов, близких значениях шероховатости и открытой пористости. После измерения образцы находились 12 часов при температуре 20 ± 2 °С, влажности $60 \pm 5\%$ до высыхания нанесенной воды с поверхности. Кислота наносилась на подготовленные образцы капельным способом, концентрация олеино-

вой кислоты составила 0,055 г/см². Были зафиксированы контактные углы при заданной концентрации кислоты, после измерения образцы находились 12 часов в полной темноте при температуре 20 ± 2 °С, влажности $60 \pm 5\%$ до высыхания нанесенной воды с поверхности. Далее образцы поместили под УФ-лампу, измерения контактных углов проводились каждые 6 часов облучения и закончились по истечении суммарно 30 часов облучения, когда средние значения измерения двух последних измерений отличались менее, чем на 10%. Для измерения каждой капли было снято видео продолжительностью не менее 20 секунд с частотой 5 кадров в секунду с момента падения капли до полной остановки растекания, далее углы были измерены с помощью программного обеспечения Autocad.

Результаты исследования. Фотографии образцов и результаты расчетов эффективности самоочищения приведены на рисунках 1-4.

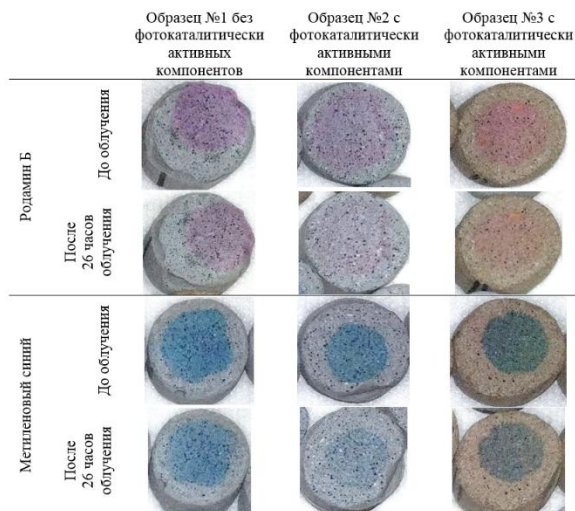


Рис. 1 – Внешний вид образцов при испытании по методу родамин-теста с использованием разных красителей

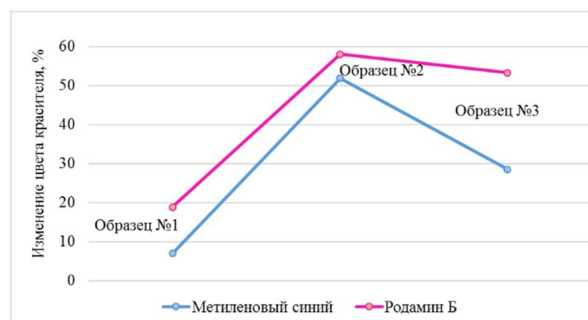


Рис. 2 – Эффективность деградации красителей на поверхности материалов после 26 часов облучения материалов по методу родамин-теста с использованием разных красителей

Образец №1 – без фотокаталитическиактивных компонентов, Образцы №2, 3 – с фотокаталитически активными компонентами



Рис. 3 – Внешний вид образцов при испытании по методу изменения контактного угла капли воды

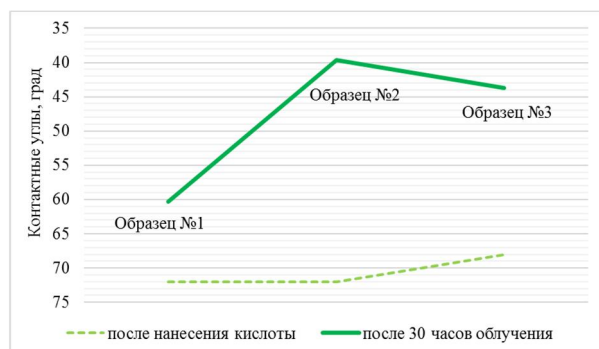


Рис. 4 – Значения контактных углов материалов сразу после нанесения олеиновой кислоты и после 30 часов облучения по методу изменения контактного угла капли воды

Образец №1 – без фотокаталитически активных компонентов, Образцы №2, 3 – с фотокаталитически активными компонентами

По результатам эксперимента видно, что при всех способах испытания тенденция графиков одинаковая: образец без добавки показывает наименьшую способность к самоочищению, образец с синтезированным фотокатализатором имеет наибольшую самоочищающую способность, и третий образец показывает эффективность немного меньшую максимальной (рис. 2, 4).

При этом тесты с родамином Б показывают эффективность выше, чем с метиленовым синим (рис. 2). Это можно объяснить тем, что концентрация метиленового синего была выше, чем концентрация родамина Б, а также контрастность между цветом образца и цветом окрашенной области у образцов с метиленовым синим выше, чем у образцов с родамином Б (рис. 1). Особенно заметно влияние контрастности в опытах с третьим образцом. В связи с тем, что третий образец оранжевого цвета, в родамин-тесте результаты на нем завышены.

В опыте с олеиновой кислотой третий образец показывает довольно хорошую эффективность разложения кислоты, близкую эффективности образца с синтезированным фотокатализатором (рис. 4). При этом важно учитывать, что структура третьего образца более шероховатая, судя по углу, измеренному сразу после нанесения кислоты. Поэтому, вероятно, что истинная фотокаталитическая активность третьего образца немного ниже.

Обсуждение. Согласно полученным результатам, на практике затруднительно получить объектив-

ную оценку эффективности самоочищения. Критически важным для комплексного изучения процессов самоочищения является использование не менее двух различных методов одновременно.

Также возможные решения данной проблемы могут быть следующие. Например, сравнение с эталонным фотокатализатором (во многих исследованиях проводят эксперименты с фотокатализатором DegussaP25 производителя Evonik). Интересен также способ с разложением сажи на поверхности, описанный в статье [15], нанесение сажи может уменьшить влияние пористости материала. Также существуют способы наблюдать фотокаталитическое разложение веществ на поверхности материала при помощи красок-индикаторов фотокаталитической активности, таких как Acid Violet 7 и Basic Blue 66. Также существуют подходящие для такой работы чернила, содержащие резазурин, меняющий цвет в процессе фотокатализа. Эксперименты с такими красками могут быть аналогами теста с красителями, при этом, с красками индикаторами вероятность получения качественных результатов выше, т.к. их они более «чувствительны» к фотокатализу [16].

Выводы. При использовании существующих стандартных методов оценки способности к самоочищению для строительных материалов важно учитывать множество факторов. Влияют характеристики материала (тип вяжущего, на основе которого изготовлен материал; структура, пористость и шероховатость поверхности и др.), условия облучения (интервал длин волн; мощность лампы; влажность и температура среды и др.), характеристики веществ-«загрязнителей» (красителей) (концентрация, фотохимические свойства и др.).

Важно использовать не менее двух разных методов для определения эффективности самоочищения у одинаковых образцов, накапливать большой массив результатов, учитывать структуру поверхности и характеристики материала для получения достоверной количественной оценки самоочищения материала, следить за условиями облучения и характеристиками «загрязнителей». В настоящее время невозможно получить результаты эффективности самоочищения близкие к истине без понимания фотокаталитических процессов на поверхности материала.

Библиографический список

1. Lapidus A. et al. Self-Cleaning Cement-Based Building Materials // Buildings. 2022. Vol. 12, № 5.
2. Paolini R. et al. Self-cleaning building materials: The multifaceted effects of titanium dioxide // Constr Build Mater. 2018. Vol. 182.
3. Benedix R. et al. Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning building materials // Lacer. 2000.



4. Zhao A., Yang J., Yang E.H. Self-cleaning engineered cementitious composites // *Cem Concr Compos.* Elsevier Ltd, 2015. Vol. 64. P. 74–83.
5. Amrhein K., Stephan D. Principles and test methods for the determination of the activity of photocatalytic materials and their application to modified building materials // *Photochemical and Photobiological Sciences.* Royal Society of Chemistry, 2011. Vol. 10, № 3. P. 338–342.
6. Губарева Е.Н. et al. Методы предотвращения загрязнения строительных материалов // *Сб. тр. Всерос. совещ. зав. кафедрами материаловедения и технологии материалов “Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика.”* 2015. P. 96–101.
7. Пустовгар А.П., Веденин А.Д., Нефедов С.В. Техническое регулирование фотокаталитических строительных материалов // *Интернет-вестник ВолгГАСУ.* 2014. № 2 (33).
8. Peeters H., Lenaerts S., Verbruggen S.W. Benchmarking the Photocatalytic Self-Cleaning Activity of Industrial and Experimental Materials with ISO 27448:2009 // *Materials.* MDPI, 2023. Vol. 16, № 3.
9. Graziani L. et al. Durability of self-cleaning TiO₂ coatings on fired clay brick façades: Effects of UV exposure and wet & dry cycles // *Build Environ.* 2014. Vol. 71. P. 193–203.
10. Rochkind M., Pasternak S., Paz Y. Using dyes for evaluating photocatalytic properties: A critical review // *Molecules.* MDPI AG, 2015. Vol. 20, № 1. P. 88–110.
11. Amrhein K., Stephan D. Principles and test methods for the determination of the activity of photocatalytic materials and their application to modified building materials // *Photochemical and Photobiological Sciences.* Royal Society of Chemistry, 2011. Vol. 10, № 3. P. 338–342.
12. Jimenez-Relinque E. et al. Characteristics and efficiency of photocatalytic cementitious materials: Type of binder, roughness and microstructure // *Cem Concr Res.* Elsevier Ltd, 2015. Vol. 71. P. 124–131.
13. Rabajczyk A. et al. Self-cleaning coatings and surfaces of modern building materials for the removal of some air pollutants // *Materials.* 2021. Vol. 14, № 9.
14. Avdin V.V. et al. Destruction of Some Dyes on Composite Photocatalysts Based on SiO₂/TiO₂ Oxides // *Bulletin of the South Ural State University series “Chemistry.”* 2020. Vol. 12, № 3. P. 98–107.
15. Smits M. et al. Photocatalytic degradation of soot deposition: Self-cleaning effect on titanium dioxide coated cementitious materials // *Chemical Engineering Journal.* 2013. Vol. 222. P. 411–418.
16. Peeters H., Lenaerts S., Verbruggen S.W. Benchmarking the Photocatalytic Self-Cleaning Activity of Industrial and Experimental Materials with ISO 27448:2009 // *Materials.* MDPI, 2023. Vol. 16, № 3.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья
УДК 691-405.5
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5 Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_3_93

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСАДКА ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЁГКОГО БЕТОНА

© Авторы 2023
SPIN-код: 4454-0341
AuthorID: 1140703

Красова Анна Викторовна
аспирант
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: Krasova1981@mail.ru)*

SPIN-код: 2883-1204
AuthorID: 792270

Смирнова Ольга Евгеньевна
кандидат технических наук, доцент
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: Smirnova.olj@yandex.ru)*

SPIN-код: 6495-0156
AuthorID: 530423

Шахов Сергей Александрович
доктор технических наук, профессор кафедры химии
*Сибирский государственный университет путей сообщения
(Россия, Новосибирск)*

Аннотация. В больших городах, как и в России в целом, имеются многотоннажные отходы такие как осадок сточных вод, ухудшающие экологическую ситуацию городов и страны, которые могут быть использованы в производстве строительных материалов.

Большинство существующих в настоящее время технологий таких высокоэффективных теплоизоляционно-конструкционных материалов, как лёгкий бетон пониженной средней плотности, требует применения дорогостоящих или требующих сложной в технологическом плане подготовки сырьевых компонентов (портландцемент, известь, молотый кварцевый песок и др.), что негативно отражается на стоимости и конкурентоспособности материала. Одним из путей решения данной проблемы является использование в производстве лёгких бетонов местной сырьевой базы и техногенных вторичных ресурсов.

В связи с этим представляются актуальными исследования по замене молотого кварцевого песка в составе лёгкого бетона на сухой осадок ливневых сточных вод, что не только повысит экономичность этого материала, но и позволит получить такие улучшенные эксплуатационные показатели, как пониженная теплопроводность, плотность, с незначительной повышенной или такой же прочностью материала.

Ключевые слова: влажность; осадок сточных вод; химический состав; заполнитель; лёгкий бетон; отходы; строительные материалы

Для цитирования: Красова А.В., Смирнова О.Е., Шахов С.А. Исследование физико-химических свойств осадка ливневых сточных вод для применения в производстве лёгкого бетона // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 93-97. doi:10.51608/26867818_2023_3_93.

Original article

INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF STORMWATER SLUDGE FOR USE IN THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

© The Author(s) 2023

KRASOVA Anna Viktorovna
PhD Candidate
*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
(Novosibirsk, Russia, e-mail: Krasova1981@mail.ru)*

SMIRNOVA Olga Evgenievna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
(Novosibirsk, Russia, e-mail: Smirnova.olj@yandex.ru)*



SHAKHOV Sergey Aleksandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemistry
Siberian Transport University
(Novosibirsk, Russia)

Abstract. In large cities, as in Russia as a whole, there are large-tonnage wastes such as sewage sludge, which worsen the ecological situation of cities and the country, which can be used in the production of building materials.

Most of the currently existing technologies of such highly efficient thermal insulation and structural materials as lightweight concrete of reduced average density require the use of expensive or technologically complex preparation of raw materials (Portland cement, lime, ground quartz sand, etc.), which negatively affects the cost and competitiveness of the material. One of the ways to solve this problem is the use of local raw materials and man-made secondary resources in the production of light concrete.

In this regard, it seems relevant to research on the replacement of ground quartz sand in light concrete with dry sediment of storm sewage, which will not only increase the efficiency of this material, but will also allow obtaining such improved performance indicators as reduced thermal conductivity, density, with slightly increased or the same strength of the material.

Keywords: humidity; sewage sludge; chemical composition; filler; light concrete; waste

For citation: Krasova A.V., Smirnova O.E., Shakhov S.A. Ensuring the competitiveness of a construction enterprise in modern conditions // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 93-97. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_93.

Введение. В России за год образуется в среднем 100 миллионов тонн осадков сточных вод, эта цифра ежегодно растёт. В результате тысячи гектаров территории страны заняты иловыми отложениями. Осадки ливневых сточных вод составляют 20-30 % от всего объёма отходов, размещённых на полигонах.

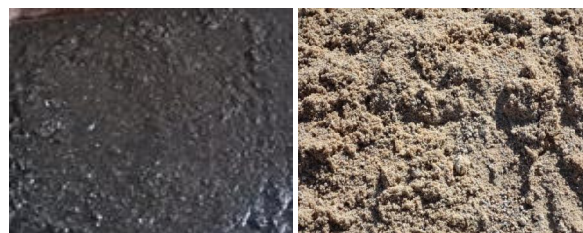
Чтобы понять морфологический состав данного вида отхода необходимо рассмотреть природу его образования. Осадки ливневых сточных вод образуются из поверхностных стоков, которые формируются из дождевых, талых и поливочных вод на застроенных территориях города и территориях промышленных предприятий. Количество загрязнений, которые попадают в поверхностные сточные воды, зависит от количества населения, благоустройства территории, частоты уборки и полива улиц, поверхности дорожных покрытий. В последнее время с увеличением количества машин на улицах города увеличилось и загрязнение дождевых и талых стоков нефтепродуктами.

Таким образом, осадками ливневых сточных вод являются суспензии в которых дисперсной фазой являются твёрдые частицы органического (не более 3%) и минерального происхождения, такие как:

- частички пыли, песка, растворённые минеральные и органические вещества;
- соединения тяжелых металлов, нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества. Внешний вид влажного и сухого осадка ливневых сточных вод представлен на рисунке 1.

По результатам анализа литературных источников в России и за рубежом в строительстве данный вид отхода используется только 1-5%. В странах Евросоюза осадки сточных вод используют в сельском хозяйстве – 13%, складывают – 23 %, компостируют –

21%, сжигают – 13%, остальное – другие методы переработки [1].



а) б)
Рис. 1 – Внешний осадка ливневых сточных вод
а) влажного; б) сухого

С помощью современного уровня развития технологий производства строительных материалов можно решить задачу утилизации данного вида отхода. Данное решение также позволит принести экономическую пользу. Применение осадка ливневых сточных в производстве строительных материалов позволит улучшить не только экономическую ситуацию регионов, но и решить экологическую проблему утилизации техногенных отходов.

Методология, результаты и обсуждение. Основной задачей исследования было выявление физико-химических свойств осадка ливневых сточных вод и возможность его применения в производстве лёгкого бетона.

Осадки отбирались локальных очистных сооружений города Новосибирска.

Пробы хранили в прохладном месте в стеклянной таре с плотно закрывающейся крышкой.

Далее осадок ливневых сточных вод доводился до сухого состояния и параллельно в соответствии с гравиметрическим методом проводили измерение влажности осадка. Данный метод основан



на весовом определении количества удалённой влаги при $t=110^{\circ}\text{C}$ из проб при измерении влажности почв. Массовую долю влаги определяли как отношение массы воды, удалённой из исследуемой пробы высушивание до постоянной массы, к массе влажной пробы. Результаты представлены в таблице 1.

По результатам измерений влажность осадка составляет 17,77 %. На рисунке 2 приведена зависимость потери влаги от времени. Из графика видно, что большее количество влаги проба теряет в пер-

вый час сушки и далее уменьшается. После двух часов сушки влага испаряется незначительно.

Пробы в воздушно-сухом состоянии хранили в закрытой таре из химически нейтрального материала – пластиковом ведре с крышкой.

После сушки осадок ливневых сточных вод исследовали на радиационную безопасность. Данный осадок относится к первому классу опасности и является малоопасным. Следовательно его можно использовать для всех видов строительства [2].

Таблица 1 – Результаты измерения влажности осадка гравиметрическим методом

Пе-риод	№ пробы	Масса тары с влажной пробой, г (m1)	Масса пробы, г (m)	Масса тары с сухой пробой, г (m2) / массовая доля влаги в пробе, % (X)				
				Через 30 мин	Через 1 час	Через 2 часа	Через 3 часа	Через 3 часа 30 мин
Осень 2021	1	2288	2176	2068/10,11	1924/16,73	1862/19,58	1860/19,67	1858/19,76
	2	2282	2170	2088/8,94	1948/15,39	1866/19,17	1860/19,45	1860/19,45
Осень 2022	3	3180	1994	3048/6,6	2934/12,3	2806/15	2784/14,24	2784/14,24
	4	3098	1892	2918/9,5	2820/14,7	2758/17,8	2762/17,75	2762/17,75

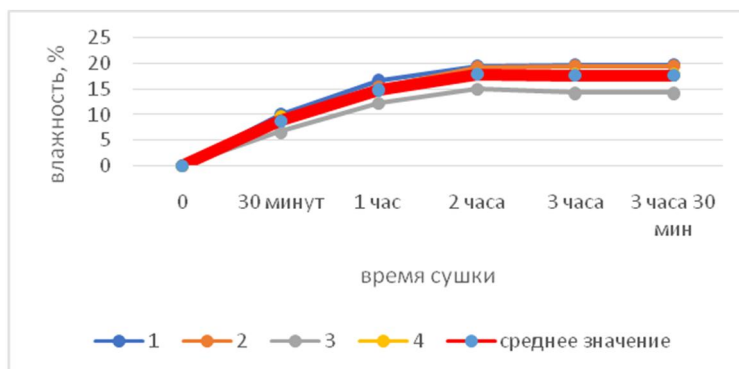


Рис. 2 – Зависимость потери влаги от времени

Таблица 2 – Химический состав осадка весеннего и осеннего периодов

Наименование показателя	Содержание компонента, масс., %							
	Весна 2020	Весна 2021	Весна 2022	Среднее	Осень 2020	Осень 2021	Осень 2022	Среднее
SiO ₂	38,96	40,38	36,14	38,49	76,09	76,57	75,78	76,15
TiO ₂	0,64	0,77	0,57	0,66	0,25	0,24	0,28	0,26
Al ₂ O ₃	8,29	9,76	8,97	9,01	6,79	6,77	6,81	6,79
Fe ₂ O ₃	7,9	5,92	8,56	7,46	2,51	2,44	2,98	2,64
MnO	0,08	0,09	0,12	0,09	0,04	0,04	0,05	0,04
MgO	1,9	2,14	2,75	2,26	1,20	1,17	1,36	1,24
CaO	12,79	11,12	12,7	12,2	3,88	3,86	3,94	3,89
Na ₂ O	0,94	1,05	1,53	1,17	1,41	1,38	1,40	1,39
K ₂ O	1,21	1,66	1,1	1,32	1,58	1,62	1,54	1,58
P ₂ O ₅	0,67	0,61	0,66	0,65	0,10	0,10	0,10	0,10
BaO	0	0	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04
SO ₃	2,36	2,57	2,37	2,43	0,16	0,19	0,14	0,16
V ₂ O ₅	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
NiO	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
ППП	9	8	9	8,5	4	4	4	4
Модуль основности (Mo)	0,31	0,26	0,34	0,3	0,06	0,06	0,06	0,065
Модуль активности (Ma)	0,21	0,24	0,25	0,23	0,09	0,09	0,09	0,09



Химически состав осадков определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (далее РФА). Бралась пробы осеннего и весеннего периодов. Данные представлены в таблице 2.

По расчетным данным выявлено, что осадки являются кислыми так как модуль основности и модуль активности меньше единицы.

Дополнительно, с помощью лакмусовой бумаги была определена кислотность осадков. Бумага окрасилась в зеленоватый цвет (рН 5-6), что подтверждает расчетные данные.

Согласно результатам РФА сухой осадок ливневых сточных вод, полученный в весенние периоды, содержит SiO_2 – около 38 %, в осенние – около 76 %. Наблюдается нестабильность составов осадка по временам года (осень-весна), но стабильность в периодах сохраняется.

На усредненных пробах осеннего и весеннего периодов был проведен рентгеноструктурный анализ осадка. Дифрактограммы представлены на рисунке 3.

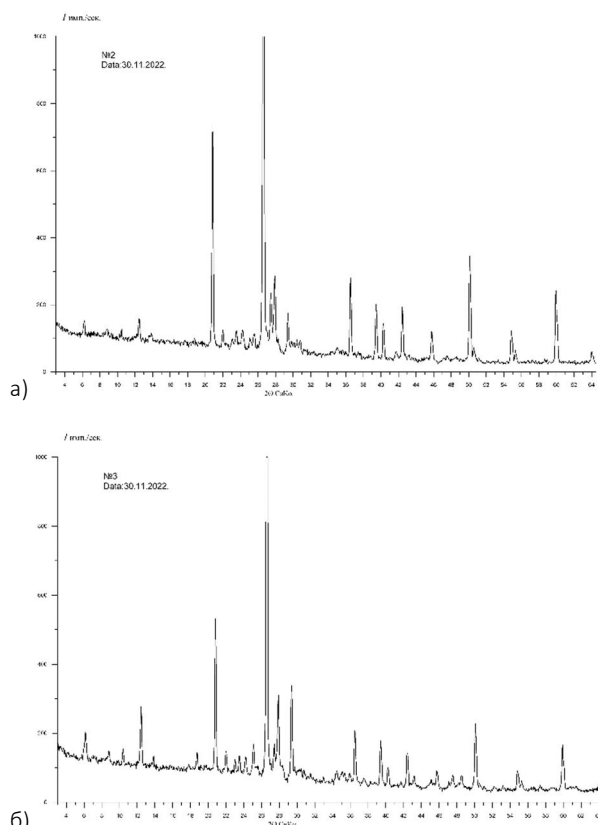


Рис. 3 – Дифрактограммы минералогического состава осадка сточных вод
а) весеннего периода; б) осеннего периода

По результатам рентгеноструктурного анализа выявлено, что в осадке весеннего периода содержится, мас. %: кварц – 30-50; плагиоклаз – 5-10; калиевый полевой шпат – 3-5; хлорит – 10-15; слюда – 3-5; кальцит 3-5; амфибола – 2-3; пирит – 2-3.

В осадке осеннего периода содержится, мас. %: кварца более 50; плагиоклаз – 5-10; калиевый полевой шпат – 5-10; хлорит – 3-5; слюда – 3-5; кальцит 2-3; амфибола 2-3; возможны слюды.

Результаты рентгеноструктурного анализа подтверждают, что в осадке осеннего периода кварца содержится больше, чем в весеннем.

Так как сухой осадок ливневых сточных вод является кислым, то предлагается использовать его в качестве заполнителя для лёгкого бетона. С этой целью он был сравнён с химическим составом песка и кислыми золами, которые наиболее часто применяются в производстве газобетона (табл. 3).

Таблица 3 – Химический состав кислых зол и песка

Наименование показателя	Содержание компонента, масс. %			
	Южно-Кузбасская ГРЭС (новый отвал)	Кемеровская ГРЭС	ТЭЦ-5 г. Новосибирска	Состав песка
SiO_2	58-68	58,3	54,2-59,1	75-94
Al_2O_3	17-26	22,2	19,8-21,6	2,6-4,2
Fe_2O_3	6-10	11,16	3,5-4,6	
MgO	0,8-2	2,26	1-3	0-0,4
CaO	3-3,5	3,44	3-5	0,5-2,0
SO_3	0,2-0,7	0,34	0,7-1,1	0,1-0,8
ППП	8-14	11,54	0,8-5,8	1,5-4,0

Выявлено некоторое сходство химического состава сухого осадка ливневых сточных вод с кислыми золами ТЭЦ и песком.

Выводы. По результатам анализа технической литературы, в России и за рубежом осадок сточных вод применяется не более 1-5% в составе строительных материалов.

Осадки ливневых сточных вод по радиационной безопасности относятся к 1 классу (не превышают 370 Бк/кг) и могут быть использованы в производстве строительных материалов.

Установлено, что в осадке сточных вод отсутствуют тяжёлые металлы.

Установлена стабильность химического составов сухого осадка ливневых сточных вод, стабильность наблюдается по периодам (весна – осень).

Химический состав осеннего осадка схож с составом песка, весеннего с кислыми золами.

Необходимо дополнительное исследование свойств осадков ливневых сточных вод для дальнейшего использования в производстве лёгкого бетона.

Библиографический список

1. Поповцева А.А., Дьяков М.С. Научно-практические основы использования золы сжигания осадка город-



ских сточных вод в производстве строительных материалов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – том 1. - С. 278-282

2. Красова, А. В. Безопасность техногенных отходов в производстве строительных материалов / А. В. Красова, О. Е. Смирнова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : Материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20–21 апреля 2023 года. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. – С. 276-277. – EDN TVLNUI.

3. Дьяков М.С., Вайсман Я.И. Оценка перспективных и конкурентоспособных направлений переработки осадков коммунальных сточных вод // Экология и промышленность России. – 2017. – том 21. - №7. - С. 36-41.

4. Валетов Д.С., Кащенко О.В. Анализ методов утилизации осадков городских сточных вод // ACADEMY Олимп. - 2018. - № 12(39). - С. 16-12

5. Патент RU 2 554 966 C2 Сырьевая смесь для приготовления золощелочного бетона./ Русина В.В., Корда Е.В., Корнеев Д.Н., Громова А.Н. Оpubл. 10.07.2015. Бюл. № 19

6. Патент RU 2 374 200 C1 Сырьевая смесь для приготовления жаростойкого золошлакового бетона./ Русина В.В., Метляева А.В., Меркель Е.Н. Оpubл. 27.11.2009. Бюл. № 33.

7. Патент RU 2 329 987 C1 Сырьевая смесь для приготовления кислотостойкого золошлакового бетона./ Русина В.В., Грызлова Е.О. Оpubл. 27.07.2008. Бюл. № 21.

8. Патент RU 2 554 967 C2 Сырьевая смесь для приготовления коррозионностойкого золощелочного бетона./

Русина В.В., Корда Е.В., Громова А.Н., Корнеев Д.Н. Оpubл. 10.07.2015. Бюл. № 19

9. Патент RU 2237639 C2 Способ изготовления золощелочной бетонной смеси для монолитных строительных конструкций./ Русина В.В., Подвольская Е.Н., Шихалева А.А., Журавлева И.В. Оpubл. 10.10.2004. Бюл. №28

10. Патент RU 2 553 130 C2 Способ получения золошлакового бетона./ Русина В.В., Корда Е.В., Громова А.Н., Корнеев Д.Н., Оpubл. 10.06.2015. Бюл. № 16

11. Патент RU 2 134 250 C1 Способ получения неавтоклавного зольного ячеистого бетона / Белов В.В., Ильмер Е.И., Карцева В.В. Оpubл.10.08.1999.

12. Патент RU 2 303 584 C1 Способ изготовления изделий из неавтоклавного ячеистого золобетона / Пятаев А.В., Пшонкин Н.Г. Оpubл. 27.07.2007. Бюл. № 21

13. Патент RU 2278848 C1. Теплоизоляционный бетон./ Л.Б. Сватовская, В.Я. Соловьёва, Е.В. Русанова, А.М. Сычёва, А.В. Хитров, Т.С. Титова. Оpubл. 27.06.2006, Бюл. №18.

14. Патент RU 2306300 C1. Смесь для пенобетона./ Л.Б. Сватовская, В.Я. Соловьёва, В.А. Чернаков, В.Н. Сурков, Д.В. Соловьёв. Оpubл. 20.09.2007, Бюл. №26.

15. ПНД Ф 12.1:2:2.2:3:3.2-03 Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления»

16. ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнённость».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.06.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.06.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья

УДК 691.17

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_3_98

ОСОБЕННОСТИ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СТОЙКИХ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

© Авторы 2023

SPIN: 1658-0511

AuthorID: 900532

ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Надежности и ремонта

Новосибирский государственный аграрный университет

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

Аннотация. В статье представлены результаты исследования модифицированных лакокрасочных покрытий с различными нанодобавками. Отмечено, что при бинарном введении углеродных нанотрубок и оксида висмута, достигаются наилучшие результаты адгезионной прочности и механической прочности. Для оптимизации состава наномодифицированного лакокрасочного материала при совместном введении состава с углеродными нанотрубками и оксидом висмута проведен трехфакторный эксперимент, в результате чего определен экстремум функции отклика с соответствующими значениями факторов. Исследование наномодифицированных покрытий на растровом электронном микроскопе позволило определить, что покрытия без наноразмерных добавок имеют неплотную глобулярную структуру, однако при модифицировании нанодобавками глобулы переходят в фибриллярное состояние, и происходит активное взаимодействие углеродных нанотрубок с лакокрасочным материалом с образованием структуры по фрактальному механизму. При совместном введении оптимального значения оксида висмута и углеродных нанотрубок, наблюдается образование однородных фрактальных структур, равномерно армирующих весь композит. На основании подобранной рецептуры разработаны рекомендации и технологическая карта по приготовлению бинарномодифицированного лакокрасочного материала наночастицами оксида висмута и составом на основе углеродных нанотрубок.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы; наноразмерные добавки; адгезионная прочность; углеродные нанотрубки; оксид висмута; строительные материалы

Благодарности: выражается благодарность за консультацию и поддержку при проведении данного исследования заслуженному работнику высшей школы РФ, доктору технических наук, профессору Пичугину Анатолию Петровичу.

Для цитирования: Пчельников А.В. Особенности рецептурно-технологических решений получения стойких к эксплуатации защитных покрытий для металлоконструкций // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 98-105. doi:10.51608/26867818_2023_3_98.

Original article

FEATURES OF FORMULATING AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR OBTAINING PERFORMANCE-RESISTANT PROTECTIVE COATINGS FOR METAL STRUCTURES

© The Author(s) 2023

PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)

Abstract. The article presents the results of a study of modified paint coatings with various nanoadditives. It is noted that with the binary introduction of carbon nanotubes and bismuth oxide, the best results in adhesive strength and mechanical strength are achieved. To optimize the composition of the nanomodified paintwork material with the joint introduction of the composition with carbon nanotubes and bismuth oxide, a three-factor experiment was carried out, as a result of which the extremum of the response function was determined with the corresponding values of the factors. The study of nanomodified coatings on a scanning electron microscope made it possible to determine that coatings without nanosized additives have a loose globular structure, however, when modified with nanoadditives, the globules pass into a fibrillar state, and carbon nanotubes actively interact with the paint material with the formation of a structure according to the fractal mechanism. With the joint introduction of the optimal value of bismuth oxide and carbon nanotubes, the formation of homogeneous fractal structures is observed,



uniformly reinforcing the entire composite. Based on the selected recipe, recommendations and a flow sheet for the preparation of a binary-modified paintwork material with bismuth oxide nanoparticles and a composition based on carbon nanotubes were developed.

Keywords: paintwork materials; nanoscale additives; adhesive strength; carbon nanotubes; bismuth oxide; building materials

Acknowledgments: gratitude is expressed for the advice and support during the conduct of this study to the Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor Pichugin Anatoly Petrovich.

For citation: Pchelnikov A.V. Features of formulating and technological solutions for obtaining performance-resistant protective coatings for metal structures // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 98-105. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_98.

Введение. Для объектов различного назначения, эксплуатируемых в условиях с высокой коррозионной активностью (холодный, морской климат, активная химическая среда и др.), необходимо применение защитных покрытий способных сохранять свои качества длительное время [1-8].

Для создания долговечных защитных покрытий в условиях эксплуатации с высокой коррозионной активностью применяют либо порошковые полимерные материалы, либо органические лакокрасочные материалы со специальными добавками. Данные материалы являются дорогостоящими, и/или их применение требует наличия специализированного оборудования [4,9].

Для снижения себестоимости покрытия целесообразнее применять органические лакокрасочные материалы. А для их обеспечения необходимыми эксплуатационными характеристиками вводят модификаторы (в т.ч. наномодификаторы) на этапе приготовления, перед непосредственным применением [4-9]. Однако ввиду сложности получения однородных составов на данном этапе этот способ не имеет широкого применения.

Таким образом, **целью работы** является разработка технологических решений получения эксплуатационноустойчивых защитных покрытий для металлоконструкций за счет подбора вида и концентрации нанодобавок в лакокрасочном материале, вводимых на этапе приготовления.

В связи с этим, актуально находить пути снижения себестоимости и трудоемкости получения высокоэффективных защитных покрытий на металлических поверхностях, за счет введения в лакокрасочный материал перед непосредственным применением легкосмешиваемых совместимых наномодификаторов. Как известно, наномодификаторы способны обеспечить защитное покрытие целым комплексом свойств, оказывающих положительное влияние при малых концентрациях в составе материала [4, 10-14], а как показали предыдущие исследования авторов, положительный эффект наблюдается уже до 1% концентрации в составе материала [5-9].

Известные способы создания устойчивых к эксплуатации защитных покрытий имеют ряд недо-

статков: высокая концентрация нанодобавок, что приводит к увеличению себестоимости покрытия, сложность приготовления и др. [15-17]. Исходя из этого, перед авторами стояла задача - снизить трудоемкость приготовления модифицированного лакокрасочного материала и повысить эксплуатационную стойкость получаемых покрытий.

Материалы и методы. Для исследования принимались лакокрасочные материалы и модификаторы отечественного производства (эмаль АК-1301, нанодобавки: УНТ, оксид висмута, диоксид кремния, диоксид титана, гидроксид магния, гидроксид алюминия, оксид церия, оксид цинка). Принимались стандартные методы исследования: адгезионная прочность покрытий определялась в соответствии с ГОСТ 32299, прочность к истиранию оценивалась в соответствии с ГОСТ 20811, определение толщины покрытий в соответствии с ГОСТ Р 51694, вязкость лакокрасочных материалов в соответствии с ГОСТ 9070, твердость покрытий в соответствии с ГОСТ 24621. Микроскопическое исследование покрытий проводилось на растровом электронном микроскопе Tescan Mira 3хми, на атомно-силовом микроскопе Ntegra Aura.

Результаты и их обсуждение. По результатам проведенных исследований покрытия, полученные на основе эмали АК-1301 (обоснованной в предыдущих исследованиях [5-8]) без добавления модификаторов обладают адгезией, в среднем 2,2 МПа, при этом характер отрыва испытательного упора от основания 100% адгезионный. Толщина и твердость покрытия составляет 50 - 52 мкм и 63 - 65 ед., соответственно.

Добавление таких модификаторов как гидроксид магния, гидроксид алюминия, оксид церия, оксид цинка приводят к незначительному повышению адгезионной прочности с 2,0 - 2,2 МПа до 2,4 - 2,9 МПа покрытий при незначительном изменении характера отрыва в сторону когезионного. Причем приповышение адгезионной прочности близкое к 3 МПа наблюдается при введении модификаторов более 1% до 2,5 %, а это указывает об экономической нецелесообразности использования наноразмерных добавок для этих целей.



Добавление диоксида кремния и диоксида титана приводят к повышению адгезионной прочности покрытия до 2,7 - 3,2 МПа уже при концентрации в составе лакокрасочного материала 1%. При этом, применение диоксида кремния более предпочтительно, так как характер отрыва более когезионный (адгезионно-когезионный - А60 - К40 против А90 - К10 при добавлении диоксида титана), что говорит об истинном значении адгезии, превышающем значение 3,1 МПа.

При модификации лакокрасочных покрытий оксидом висмута наблюдается более значительное изменение адгезионной прочности. Уже при введении 0,25% модификатора адгезионная прочность возрастает до 2,8 - 3,0 МПа при характере отрыва Адгезионно-когезионный (А90-К10). При достижении 1% концентрации в составе лакокрасочного материала адгезия возрастает до 3,5 МПа при характере отрыва преимущественно когезионном (А10-К90), что говорит об истинном значении адгезии существенно превышающем 3,5 МПа [18]. Добавление более 1% оксида висмута существенных изменений адгезионной прочности не вызывает. Стоит отметить, что при введении Оксида висмута наблюдается повышение толщины высушенного лакокрасочного покрытия с 50 - 52 мкм при 0% до 61 - 65 мкм при 1%. В свою очередь это служит предпосылками к применению оксида висмута для создания огнестойких покрытий, так как применение терморасширяющихся материалов – один из эффективных способов повышения огнестойкости. Вместе с тем, при добавлении оксида висмута наблюдается также повышения твердости получаемого покрытия с 63 - 65 до 81 - 88 единиц, что говорит о повышении механической прочности.

При введении в лакокрасочный материал состава с УНТ изменение адгезионной прочности наблюдается уже при самых незначительных концентрациях (от 0,01%), адгезия возрастает с 2,2-2,4 до 2,8 - 3,1 МПа при характере отрыва адгезионно-когезионный А95 - К5. Дальнейшее введение состава с УНТ приводит к еще более стремительному повышению адгезионной прочности и при концентрации 0,5% достигает 4,8 - 5,1 МПа при характере отрыва преимущественной когезионном (А15 - К85), что говорит об истинном значении адгезии значительно превышающем 5 МПа. Также введение в лакокрасочный материал 0,25% и более приводит к существенному повышению вязкости получаемого материала, что в свою очередь приводит к технологическому усложнению применения такого состава и дополнительному расходу разбавителей для достижения требуемого значения вязкости. Приведение состава отмечено некоторое повышение значения твердости покрытия с 63 - 65 до 77 - 79 единиц при 0,5% УНТ, что также говорит о вероятном повышении механической прочности покрытия.

Таблица 1 - Результаты испытаний наномодифицированных покрытий различными добавками

Содержание в ЛКМ, %	Средняя толщина, мкм	Твердость по Шору	Истираемость, г	Адгезионная прочность, МПа	Характер отрыва (адгезионный/когезионный (А/К)), %
Без добавок					
0	50 - 52	63 - 65	0,036 - 0,038	2,2 - 2,4	А-К 100-0
Оксид висмута					
0,25	50 - 53	63 - 66	0,034 - 0,037	2,8 - 3,0	А-К 90-10
0,5	52 - 54	62 - 67	0,030 - 0,033	3,0 - 3,3	А-К 90-10
1	61 - 65	81 - 88	0,028 - 0,032	3,3 - 3,5	А-К 10-90
2,5	62 - 66	76 - 82	0,028 - 0,033	3,2 - 3,4	А-К 10-90
5	67 - 72	86 - 94	0,030 - 0,034	3,3 - 3,5	А-К 30-70
Гидроксид магния, гидроксид алюминия					
0,25	52 - 55	61 - 64	0,035 - 0,037	2,0 - 2,2	А-К 100-0
0,5	51 - 55	62 - 66	0,035 - 0,039	2,1 - 2,4	А-К 100-0
1	54 - 60	65 - 70	0,036 - 0,040	2,3 - 2,7	А-К 95-5
2,5	57 - 62	64 - 68	0,035 - 0,038	2,4 - 2,9	А-К 90-10
Диоксид титана					
0,25	52 - 55	63 - 66	0,036 - 0,039	2,3 - 2,5	А-К 95-5
0,5	50 - 52	68 - 74	0,036 - 0,038	2,4 - 2,9	А-К 90-10
1	52 - 55	71 - 78	0,037 - 0,041	2,7 - 3,1	А-К 90-10
2,5	54 - 60	79 - 86	0,036 - 0,039	3,0 - 3,3	А-К 80-20
Диоксид кремния					
0,25	50 - 53	63 - 66	0,033 - 0,036	2,3 - 2,6	А-К 90-10
0,5	48 - 51	63 - 69	0,034 - 0,038	2,5 - 2,9	А-К 80-20
1	52 - 55	65 - 71	0,030 - 0,033	2,8 - 3,2	А-К 60-40
2,5	53 - 60	64 - 72	0,031 - 0,035	2,7 - 3,1	А-К 60-40
Оксид церия, оксид цинка					
0,25	51 - 54	62 - 65	0,036 - 0,038	2,2 - 2,5	А-К 90-10
0,5	49 - 53	61 - 64	0,035 - 0,038	2,3 - 2,5	А-К 90-10
1	50 - 55	61 - 63	0,037 - 0,040	2,4 - 2,8	А-К 90-10
2,5	48 - 52	63 - 67	0,036 - 0,039	2,6 - 2,9	А-К 80-20
Состав с УНТ					
0,01	52 - 54	63 - 65	0,032 - 0,036	2,8 - 3,1	А-К 95-5
0,05	50 - 53	66 - 68	0,028 - 0,032	3,4 - 3,7	А-К 90-10
0,1	49 - 52	70 - 73	0,025 - 0,029	3,9 - 4,1	А-К 50-50
0,25	50 - 52	71 - 74	0,023 - 0,026	4,3 - 4,5	А-К 50-50
0,5	53 - 55	77 - 79	0,022 - 0,026	4,8 - 5,1	А-К 15-85

Исходя из вышеизложенного, принято решение провести испытание лакокрасочных покрытий модифицированных бинарными составами. Так как наилучшие результаты (таблица 1) показали покрытия модифицированные оксидом висмута и УНТ, также в виду их схожести по диамагнетическим и другим параметрам [19], что дает основание предполагать их совместимость, исследованы покрытия модифицированные данными добавками, результаты которых представлены в таблице 2.

В результате испытаний определено, что при введении в лакокрасочный материал сочетания Bi_2O_3 1% и УНТ 0,25% не наблюдается выраженного изменения адгезионной прочности, хотя изменяется



характер отрыва в сторону когезионного. Отрицательный эффект наблюдается при введении сочетания Bi_2O_3 0,5% и УНТ 0,1%, адгезионная прочность снижается практически в 2 раза, по сравнению с образцом без добавок. При введении сочетаний в состав лакокрасочного материала сочетания Bi_2O_3 0,5% и УНТ 0,05% происходит повышение адгезионной прочности покрытия до 3,6 - 3,8 МПа и характер отрыва становится более когезионный А - К 30 - 70. Однако по сравнению с введением отдельно Оксид висмута 0,5% и отдельно УНТ 0,05% не происходит ярко выраженного изменения и значение адгезионной прочности остается примерно на том же уровне, хотя характер отрыва изменился в сторону когезионного (А30 - К70 против А10 - К90).

Таблица 2 – Результаты испытаний при совместном введении оксида висмута и состава с УНТ

Содержание в ЛКМ, %	Средняя толщина, мкм	Твердость по Шору	Истираемость, г	Адгезионная прочность, МПа	Характер отрыва (адгезионный/когезионный (А/К)), %
Без добавок					
0	50 - 52	63 - 65	0,036 - 0,039	2,2 - 2,4	А-К 100-0
С добавками					
Bi_2O_3 0,5% УНТ 0,05%	53 - 55	65 - 68	0,030 - 0,033	3,6 - 3,8	А-К 30-70
Bi_2O_3 0,5% УНТ 0,1%	52 - 55	60 - 63	0,038 - 0,042	1 - 1,2	А-К 100-0
Bi_2O_3 0,5% УНТ 0,25%	51 - 54	70 - 74	0,027 - 0,030	3,3 - 3,6	А-К 80-20
Bi_2O_3 1% УНТ 0,05%	57 - 61	80 - 85	0,028 - 0,032	3,4 - 3,7	А-К 40-60
Bi_2O_3 1% УНТ 0,1%	55 - 59	87 - 90	0,021 - 0,025	4,5 - 4,8	А-К 30-70
Bi_2O_3 1% УНТ 0,25%	55 - 60	64 - 67	0,033 - 0,038	1,8 - 2,1	А-К 20-80

Похожая ситуация наблюдается и при введении сочетания Bi_2O_3 0,5% + УНТ 0,25% и Bi_2O_3 1% + УНТ 0,05%. Адгезионная прочность по сравнению с контрольным образцом возрастает с 2,2 - 2,4 до 3,3 - 3,7 МПа и характер отрыва меняется в сторону когезионного (А80 - К20). Однако по сравнению с введением отдельно Оксид висмута и отдельно УНТ не происходит ярко выраженного изменения адгезионной прочности.

При введении сочетания Bi_2O_3 1% и УНТ 0,1% адгезионная прочность возрастает с 2,2 - 2,4 до 4,5 - 4,8 МПа при измененном характере отрыва в сторону когезионного А30 - К70. По сравнению с введением отдельно оксида висмута 1% и УНТ 0,1% происходит также повышение адгезионной прочности и изменение характера отрыва в сторону когезион-

ного (оксид висмута 1% - 3,3 - 3,5 МПа при характере отрыва А - К 10 - 90; УНТ 0,1% 3,9 - 4,1 МПа при характере отрыва А - К 50 - 50).

Сочетание Bi_2O_3 1% и УНТ 0,1% позволяет получать покрытие наравне и даже превышающее по адгезии, чем отдельно УНТ 0,25%: 4,1 - 4,4 МПа при характере отрыва А30-К70 против 4,3 - 4,5 МПа при характере отрыва А30-К70. В виду этого возможно говорить о получении синергетического эффекта при совместном введении Bi_2O_3 1% и УНТ 0,1%.

При исследовании образцов наномодифицированных покрытий на растровом электронном микроскопе при ускоряющем напряжении 15 кВи сигналами от одного детектора (BSE) выявлено следующее (рисунок 1): покрытия без наноразмерных добавок (рисунок 1а) имеют неплотную глобулярную структуру, однако при модифицировании нанодобавками глобулы переходят в фибриллярное состояние, и происходит активное взаимодействие углеродных нанотрубок с лакокрасочным материалом с образованием структуры по фрактальному механизму (рисунок 1б). В дальнейшем, при совместном введении оксида висмута и углеродных нанотрубок, наблюдается образование гомогенных фрактальных структур, равномерно армирующих весь композит (рисунок 1в). Отмечено также, что при большем содержании углеродные нанотрубки агрегируют, образуя дефекты структуры.

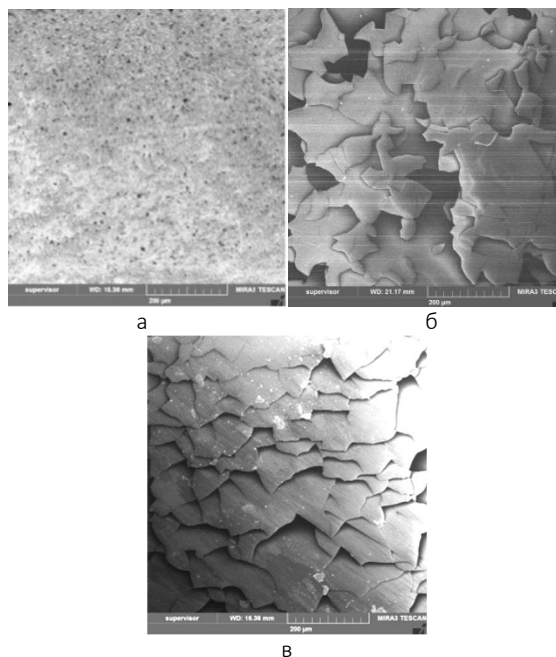


Рис. 1 - Микроструктура наномодифицированного защитного акрилового покрытия: а – без наноразмерных добавок; б - с добавкой углеродных нанотрубок (УНТ) 0,1%; в - с добавками УНТ 0,1% и оксида висмута 1%

Для оптимизации состава наномодифицированного лакокрасочного материала при совместном



введении состава с углеродными нанотрубками и оксидом висмута проведен трехфакторный эксперимент плана В-D13, который позволяет получать нелинейные квадратичные модели, обладает хорошими статистическими характеристиками и является наиболее подходящим при определении технологических параметров материалов, а также подбора рецептур [20]. Построение функциональных моделей экспериментальных зависимостей свойств объекта исследования от переменных параметров осуществлялось с помощью программно-алгоритмического средства обработки данных трехфакторного планированного эксперимента В-D13.

Факторы и уровни варьирования представлены в таблице 3. В качестве факторов приняты: - содержание в лакокрасочном материале состава с углеродными нанотрубками, %, содержание наноксида висмута, %, содержание разбавителя, %.

Таблица 3 - Факторы и интервалы их варьирования

Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
0,075	0,1	0,125	0,025	Состав с УНТ, %
0,750	1,0	1,250	0,250	Наноксид висмута, %
0	10	20	10	Разбавитель, %

Таблица 4 - План эксперимента и выходные параметры опытов

Номер опыта	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (Адгезионная прочность, МПа)		
	x1	x2	x2	Состав с УНТ, %	оксид висмута, %	Разбавитель, %	У (опыт 1)	У (опыт 2)	У (опыт 3)
1	-1	-1	-1	0,075	0,750	0	3,8	3,6	3,7
2	+1	-1	-1	0,125	0,750	0	4,3	4,2	4,2
3	-1	+1	-1	0,075	1,250	0	3,5	3,4	3,3
4	-1	-1	+1	0,075	0,750	20	3,8	3,6	3,7
5	-1	0,19	0,19	0,075	1,048	11,9	4,3	4,2	4,3
6	0,19	-1	0,19	0,1048	0,750	11,9	4,2	4,0	4,1
7	0,19	0,19	-1	0,1048	1,048	0	4,6	4,5	4,5
8	-0,29	+1	+1	0,0928	1,250	20	4,2	4,1	4,1
9	+1	-0,29	+1	0,125	0,928	20	3,8	3,6	3,7
10	+1	+1	-0,29	0,125	1,250	7,1	3,4	3,3	3,4

В качестве выходного параметра принята адгезионная прочность покрытия, МПа. Для определения воспроизводимости измерений выходного параметра проведено по 3 параллельных испытания.

План эксперимента и значения выходных параметров представлены в таблице 4.

Таблица 5 - Коэффициенты уравнения математической модели

Коэффициент	Значение
b0	4,553
b1	-0,101
b2	-0,111
b3	-0,074
b11	-0,412
b12	-0,128
b13	-0,24
b22	-0,5
b23	0,166
b33	-0,03

На основании результатов испытаний и расчетов в соответствии с таблицами 4 и 5 уравнение математической модели выглядит следующим образом:

$$y = 4,553 - 0,101 \cdot X_1 - 0,111 \cdot X_2 - 0,074 \cdot X_3 - 0,412 \cdot X_1^2 - 0,5 \cdot X_2^2 - 0,03 \cdot X_3^2 - 0,128 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,24 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,166 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

После получения математической модели производится проверка значимости (отличия от нуля) коэффициентов модели и ее адекватность. Проверка коэффициентов на значимость производится с помощью критерия Стьюдента (t-критерия). Расчетное значение t-критерия сравнивается с табличным $t_{табл}$ для выбранного уровня значимости (как правило, 5%) и данного числа степеней свободы $N(m-1)$. При табличном $t \leq t_{табл}$ коэффициент b_i считается значимым. Проверка адекватности математической модели производится по критерию Фишера (F-критерий).

Расчетное значение F-критерия сравнивается с табличным $F_{табл}$ для выбранного уровня значимости (как правило, 5%) и чисел степеней свободы $N(m-1)$ и $(N-n_3)$. При $F < F_{табл}$ уравнение математической модели считается адекватным. Результаты статистической обработки модели отображены ниже.

Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах: 0,007;

Число степеней свободы: 20;

Табличное значение критерия Стьюдента: 2,09.

Таблица 6 - Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели (1/0 - значимый/незначимый)

Параметр	t-критерий	Значимость
b0	59,853	1
b1	3,102	1
b2	3,409	1
b3	2,273	1
b11	6,547	1
b12	3,298	1
b13	6,183	1
b22	7,946	1
b23	4,277	1
b33	0,477	0



Дисперсия адекватности математической модели: 0,012;
Число степеней свободы при значимых коэффициентах: 1;
Табличное значение критерия Фишера: 4,35;
Расчетное значение критерия Фишера: 1,71.

В результате выполненных расчетов можно сделать вывод по адекватности математической модели:

По критерию Фишера уравнение математической модели является адекватным. Модель применима для решения производственных задач.

В виду того что на адгезионную прочность концентрация разбавителя практически не оказывает влияния в качестве постоянного фактора принят X_3 (концентрация разбавителя, %).

Исходя из этого преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора выглядит следующим образом:

$$y = 4,553 - 0,101X_1 - 0,111X_2 - 0,412X_1^2 - 0,5X_2^2 - 0,128X_1X_2 \quad (2)$$

На основании полученного уравнения регрессии построена диаграмма линий равного уровня (рисунок 2) из которой следует, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет $Y_{opt} = 4,564$ МПа. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $X_1 = -0,107$ (0,097) и

$X_2 = -0,097$ (0,976) при $X_3 = 0$. Таким образом оптимальными значениями концентрации нанодобавок в лакокрасочном материале при их совместном введении являются: состав с углеродными нанотрубками – 0,097%, оксид висмута – 0,976%.

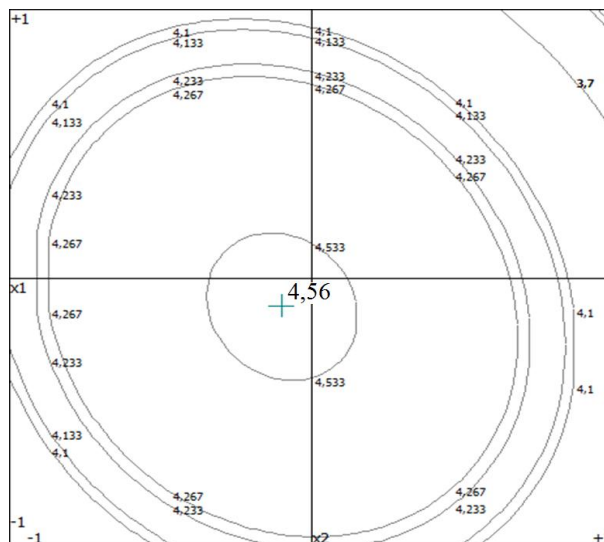


Рисунок 2 - Диаграмма линий равного уровня

На основании результатов проведенных исследований определена оптимальная концентрация нанодобавок в лакокрасочном материале для обес-

Таблица 7 – Технологическая карта по приготовлению бинарномодифицированного лакокрасочного материала

Наименование операции	Описание	Оборудование, инструмент	Материалы	Условия
1	2	3	4	5
1. Введение наночастиц	Введение в лакокрасочный материал наноксида висмута 1%, масс	Мерная емкость, дозатор, аналитические весы	Эмаль АК-1301, наноксид Висмута Bi_2O_3	Проводят в помещении или на открытом воздухе при температуре не ниже 18°C
2. Смешение	Смешение наноксида висмута в ЛКМ до однородности	Мерная емкость, Перемешивающее устройство с насадкой	Эмаль АК-1301, наноксид Висмута Bi_2O_3	Частота вращения устройства 500-2000 об/мин, диаметр насадки 300-100 мм. (в зависимости от част. вращ.) время 10-15 мин, темп. не ниже 18°C
3. Контроль качества	Оценка однородности смешения в соотв. с ГОСТ 31973	Мерная емкость, Прибор для определения степени перетира	Эмаль 1301 (с Bi_2O_3)	Размер частиц ≤ 15 мкм, темп. не ниже 18°C. При необходимости увеличить время смешения
4. Введение наночастиц	Введение в ЛКМ полученный после оп. 3 состав с УНТ 0,1%, масс	Мерная емкость, дозатор, аналитические весы	Эмаль 1301 (с Bi_2O_3), Состав с УНТ ТМ 204	Проводят в помещении или на открытом воздухе при температуре не ниже 18°C
5. Смешение	Смешение состава с УНТ в ЛКМ полученным после оп. 3 до однородности	Мерная емкость, Перемешивающее устройство с насадкой	Эмаль 1301 (с Bi_2O_3), Состав с УНТ ТМ 204	Частота вращения устройства 500-2000 об/мин, диаметр насадки 300-100 мм. (в зависимости от част. вращ.) время 10-15 мин, темп. не ниже 18°C
6. Контроль качества	Оценка однородности смешения в соотв. с ГОСТ 31973	Мерная емкость, Прибор для определения степени перетира	Эмаль 1301 (с Bi_2O_3 и составом с УНТ)	Размер частиц ≤ 15 мкм, темп. не ниже 18°C. При необходимости увеличить время смешения



печения эксплуатационной стойкости покрытий для металлоконструкций. Поставленная авторами задача снижения трудоемкости приготовления модифицированного лакокрасочного материала и повышения эксплуатационной стойкости получаемых покрытий, достигается введением в лакокрасочный материал на основе акриловых сополимеров наночастиц оксида висмута, в количестве 1%, от массы лакокрасочного материала, и состава с углеродными нанотрубками, в количестве 0,1%, от массы лакокрасочного материала.

Введение данных добавок в состав эмали на основе акриловых сополимеров позволяет добиться синергетического эффекта по отношению большинства важнейших характеристик получаемого лакокрасочного покрытия, отвечающих за противокоррозионную защиту в различных условиях эксплуатации: адгезионная прочность, прочность к истиранию, химическая стойкость, огнестойкость и др.

Как показали проведенные ранее испытания, применяемые добавки являются легко смешиваемыми механическим способом, на этапе приготовления к применению, с эмалью на основе акриловых сополимеров, и в сочетании позволяют добиться синергетического эффекта (таблицы 1, 2).

Ниже представлена технологическая карта (таблица 7) по приготовлению бинарномодифицированного лакокрасочного материала наночастицами оксида висмута и составом на основе УНТ.

Заключение. По результатам проведенных исследований определены оптимальные концентрации нанодобавок оксида висмута (1%) и углеродных нанотрубок (0,1%) в лакокрасочном материале, позволяющие добиться повышения эксплуатационной стойкости защитных покрытий металлоконструкций. На основании подобранной рецептуры разработана технологическая карта получения бинарномодифицированного лакокрасочного материала и получен патент № 2787758 «Модифицированный лакокрасочный материал» [9]. Производственная апробация полученных результатов окрашивания металлоконструкций на ряде предприятий Новосибирской области показала, что получаемые покрытия обладают в 2-3 раза большим сроком службы, по сравнению с традиционными покрытиями [5]. Таким образом, полученный состав наномодифицированного лакокрасочного материала рекомендован к использованию для металлических конструкций, работающих в условиях агрессивной среды при воздействии механических, химических, атмосферных и других нагрузок.

Библиографический список

1. Логанина, В. И. оценка напряженного состояния лакокрасочных покрытий в зависимости от шероховатости их поверхности / В. И. Логанина, М. А. Светалкина, М. В. Аришкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 2(770). – С. 36-43.

2. Логанина, В. И. Влияние толщины лакокрасочного покрытия на вероятность его растрескивания / В. И. Логанина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 25-30.

3. Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов / В. С. Лесовик, Р. С. Федюк, А. М. Гривчин, Г. Мурали // Строительные материалы. – 2021. – № 9. – С. 32-40.

4. Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях. Минск: БГТУ, 2014. 232 с.

5. Оценка эффективности использования нанодобавок в защитных покрытиях / А. П. Пичугин, А. В. Пчельников, В. Ф. Хританков, А. К. Туляганов // Строительные материалы. – 2023. – № 3. – С. 20-26.

6. Исследование влияния мелкодисперсных порошковых материалов на свойства защитных покрытий машин АПК / А. П. Пичугин, А. П. Илясов, А. В. Пчельников [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 7. – С. 36-40.

7. Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, Р. В. Луцки, С. Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1(16). – С. 14-22.

8. Роль нанодобавок в формировании прочного контактного слоя защитных покрытий / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, О. Е. Смирнова // Строительные материалы. – 2022. – № 7. – С. 45-50.

9. Патент № 2787758 С1 Российская Федерация, МПК C09D 5/08, C09D 131/00, C09D 133/08. Модифицированный лакокрасочный материал : № 2022115424 : заявл. 06.06.2022 : опубл. 12.01.2023 / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ.

10. Хозин, В. Г. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов / В. Г. Хозин, Л. А. Абдрахманова, Р. К. Низамов // Строительные материалы. – 2015. – № 2. – С. 25-33.

11. Оксид графена как модификатор цементных систем: анализ состояния и перспективы развития / В. В. Строкова, С. К. Лакетич, В. В. Нелюбова, Ж. Йе // Строительные материалы. – 2021. – № 1-2. – С. 37-90.

12. Нелюбова, В. В. Структура и свойства нанодисперсного кремнезема, синтезированного золь-гель методом / В. В. Нелюбова, Е. О. Кузьмин, В. В. Строкова // Строительные материалы. – 2022. – № 12. – С. 38-44.

13. Исследование методом оптической микроскопии высокого разрешения структуры и морфологии наноцеллюлозы - микродобавки строительных композитов / Л. Ю. Матвеева, М. В. Мокрова, В. И. Хирхасова, И. В. Баранец // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 1(84). – С. 109-116.

14. Канаева, Н. С. Релаксационные свойства полимерных материалов на основе эпоксидных связующих / Н. С. Канаева, Д. Р. Низин, Т. А. Низина // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 3(18). – С. 42-46.

15. Патент № 2537001 Российская Федерация, МПК C09D 5/08 Однослойный антикоррозионный лакокрасочный материал на основе эпоксидного связующего с углеродными нанотрубками / С.А. Запругаев, Е.В. Бутырская,



Л.С. Нечаева. - № 2012151169; заявл. 28.11.2012, опубл. 27.12.2014 г. Бюл. № 16

16. Патент № 2654959 Российская Федерация, МПК C01B 32/174 Суперконцентрат углеродных нанотрубок и способ его получения / М.Р. Предтеченский, Е.С. Ильин, Д.С. Чебоचाков. - № 2016116139; заявл. 25.04.2016, опубл. 23.05.2018 г. Бюл. № 15

17. Патент № 2312874 Российская Федерация, МПК C09D 5/08 Антикоррозионное покрытие с углеродными нанотрубками заполненными цинком / С.С. Меркулов, А.Б. Новиков, Б.И. Ройтман. - № 2006109414; заявл. 24.03.2006, опубл. 20.12.2007 г. Бюл. № 35

18. Зимон, А. Д. Адгезия пленок и покрытий / А.Д. Зимон. - М.: Химия, 1977. - 52 с.

19. Диамагнетики: магнитная восприимчивость, свойства, примеры [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://wiki.fenix.help/fizika/diamagnetiki/> [Дата обращения: 15.06.2023].

20. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - 2-е изд. - М.: Финансы и статистика, 1981. - 263 с.

Bibliographic list

1. Loganina, V. I., Svetalkina, M. A., Ariskin, M. V., Evaluation of the stress state of paintwork coatings depending on their surface roughness, *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Construction.* - 2023. - No. 2 (770). - S. 36-43.

2. Loganina, V. I. Influence of the thickness of the paint coating on the probability of its cracking / V. I. Loganina // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and architecture.* - 2023. - T. 23, No. 2. - S. 25-30.

3. Improving the performance of protective composites / V. S. Lesovik, R. S. Fedyuk, A. M. Gridchin, G. Murali // *Construction materials.* - 2021. - No. 9. - P. 32-40.

4. Shashok Zh.S., Prokopchuk N.R. Application of carbon nanomaterials in polymer compositions. Minsk: BSTU, 2014. 232 p.

5. Pichugin A. P., Pchel'nikov A. V., Khritankov V. F., Tulyaganov A. K. Evaluation of the effectiveness of the use of nano-additives in protective coatings // *Building materials.* - 2023. - No. 3. - S. 20-26.

6. A. P. Pichugin, A. P. Ilyasov, A. V. Pchel'nikov [et al.] Investigation of the influence of finely dispersed powder materials on the properties of protective coatings for agricultural machinery // *Remont. Recovery. Modernization.* - 2021. - No. 7. - P. 36-40.

7. Pchel'nikov A. V., Pichugin A. P., Lutsik R. V., Tkachenko S. E. Dielectric analysis of operational characteristics and the aging process of protective coatings // *Expert: theory and practice.* - 2022. - No. 1(16). - S. 14-22.

8. The role of nanoadditives in the formation of a strong contact layer of protective coatings / A. V. Pchel'nikov,

A. P. Pichugin, V. F. Khritankov, O. E. Smirnova // *Building materials.* - 2022. - No. 7. - P. 45-50.

9. Patent No. 2787758 C1 Russian Federation, IPC C09D 5/08, C09D 131/00, C09D 133/08. Modified paint material : No. 2022115424 : Appl. 06/06/2022 : publ. January 12, 2023 / A. V. Pchel'nikov, A. P. Pichugin, V. F. Khritankov [and others]; applicant FGBOU VO Novosibirsk State Agrarian University.

10. Khozin, V. G. General concentration pattern of the effects of nanomodification of building materials / V. G. Khozin, L. A. Abdrakhmanova, R. K. Nizamov // *Building materials.* - 2015. - No. 2. - S. 25-33.

11. Graphene oxide as a modifier of cement systems: analysis of the state and development prospects / V. V. Strokova, S. K. Laketch, V. V. Nelyubova, J. Ye // *Building materials.* - 2021. - No. 1-2. - S. 37-90.

12. Nelyubova, V. V. Structure and properties of nano-dispersed silica synthesized by the sol-gel method / V. V. Nelyubova, E. O. Kuzmin, V. V. Strokova // *Building materials.* - 2022. - No. 12. - P. 38-44.

13. Matveeva L. Yu., Mokrova M. V., Khirkhasova V. I., Baranets I. V. Investigation by high-resolution optical microscopy of the structure and morphology of nanocellulose - microadditives of building composites // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* - 2021. - No. 1 (84). - S. 109-116.

14. Kanaeva, N. S., Nizin D. R., Nizina T. A. Relaxation properties of polymeric materials based on epoxy binders // *Expert: theory and practice.* - 2022. - No. 3(18). - S. 42-46.

15. Patent No. 2537001 Russian Federation, IPC C09D 5/08 Single-layer anti-corrosion paintwork material based on an epoxy binder with carbon nanotubes / S.A. Zapryagaev, E.V. Butyrskaya, L.S. Nechaev. - No. 2012151169; dec. 11/28/2012, publ. December 27, 2014 Bull. No. 16

16. Patent No. 2654959 Russian Federation, IPC C01B 32/174 Superconcentrate of carbon nanotubes and method for its production / M.R. Predtechensky, E.S. Ilyin, D.S. Chebochakov. - No. 2016116139; dec. 04/25/2016, publ. May 23, 2018 Bull. No. 15

17. Patent No. 2312874 Russian Federation, IPC C09D 5/08 Anti-corrosion coating with carbon nanotubes filled with zinc / S.S. Merkulov, A.B. Novikov, B.I. Roitman. - No. 2006109414; dec. 03/24/2006, publ. December 20, 2007 Bull. No. 35

18. Zimon, A.D. Adhesion of films and coatings / A.D. Zimon. - M.: Chemistry, 1977. - 52 p.

19. Diamagnets: magnetic susceptibility, properties, examples [Electronic resource]. - Access mode: <https://wiki.fenix.help/fizika/diamagnetiki/> [Date of access: 06/15/2023].

20. Statistical methods of experiment planning in feasibility studies. - 2nd ed. - M.: Finance and statistics, 1981. - 263 p.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.06.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 17.06.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья

УДК 691.3

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.5 Строительные материалы и изделия, 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_3_106

СТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© Авторы, 2023

СУРОДЕЕВ Максим Сергеевич

магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

(Россия, Саранск)

СЕЛЕЗНЕВ Вячеслав Алексеевич

аспирант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

(Россия, Саранск)

МОНАХОВ Максим Николаевич

магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

(Россия, Саранск)

SPIN: 5569-3057

AutorID: 761852

ORCID: 0000-0003-1506-8502

Scopus Author ID: 57191250834

ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева;

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

(Россия, Москва, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)

SPIN: 2877-0785

AuthorID: 101166

АФОНИН Виктор Васильевич

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

(Россия, Саранск)

Аннотация. Показана важность получения новых данных по прочностным и упругопластическим свойствам бетонов и других цементных композитов. Приводятся различные методы физико-механических испытаний. Показано, что одним из эффективных способов оценки свойств материалов является метод вдавливания на поверхность образца индентора из более твердого материала. Преимуществом этого метода является возможность установления свойств на одних и тех же образцах, находящихся в эксплуатационных условиях через определенные интервалы времени. В настоящей работе показатели прочностных и упругопластических свойств микроструктурной составляющей бетонов определялись на образцах после их экспозиции в условиях умеренного климата. При проведении исследований использован консистометр Гепплера. На примере испытания образцов в поверхностных точках показан характер изменения твердости, а также упругопластических свойств цементных композитов в зависимости от их состава и длительности выдерживания. Найдены составы с улучшенными показателями стойкости.

Ключевые слова: бетоны нового поколения; цементные композиты; микроструктура; физико-механические свойства; твердость; упругость; климатическая стойкость

Для цитирования: Стойкость цементных композитов по показателям прочностных и упругопластических свойств в условиях климатических воздействий / М.С. Суродеев, В.А. Селезнев, М.Н. Монахов, И.В. Ерофеева, В.В. Афонин // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 106-113. doi:10.51608/26867818_2023_3_106.



Original article

STABILITY OF CEMENT COMPOSITES IN TERMS OF STRENGTH AND ELASTIC PLASTIC PROPERTIES
UNDER CLIMATIC CONDITIONS

© The Author(s) 2023

SURODEEV Maxim Sergeevich

master's student

*National Research Mordovian Ogarev State University
(Russia, Saransk)*

SELEZNEV Vyacheslav Alekseevich

PhD Candidate

*National Research Mordovian Ogarev State University
(Russia, Saransk)*

MONAHOV Maxim Nikolaevich

master's student

*National Research Mordovian Ogarev State University
(Russia, Saransk)*

EROFEEVA Irina Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*National Research Mordovian Ogarev State University;
Moscow State University of Civil Engineering
(Russia, Moscow, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)*

AFONIN Viktor Vasilyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*National Research Mordovian Ogarev State University
(Russia, Saransk)*

Abstract. The article shows the importance of obtaining new data on the strength and elastic-plastic properties of concrete and other cement composites. Various methods of physical-mechanical testing are given. The method of indenter compression to the surface of the sample from a more solid material is shown to be one of the most efficient methods for evaluating the properties of materials. The advantage of this method is that properties can be established on the same specimens in operation at intervals. In this paper, the strength and resiliency properties of the microstructural component of the concrete were determined on the samples after their exposure in a temperate climate. The Heplerconsistometer was used in the research. On the example of the test of samples at surface points, the nature of the change in hardness as well as the elastic properties of cement composites, depending on their composition and the length of storage, is shown. The authors found formulations with improved resistance.

Keywords: new-generation concrete; cement composites; microstructure; physical-mechanical properties; hardness; elasticity; climatic resistance

For citation: Stability of cement composites in terms of strength and elastic plastic properties under climatic conditions / M.S. Surodeev, V.A. Seleznev, M.N. Monahov, I.V. Erofeeva, V.V. Afonin // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 106-113. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_106.

Введение. Важнейшей проблемой при производстве цементных композитов является использование необходимых методов испытаний для определения их физико-механических свойств, а также установление надежных экспериментальных данных об их свойствах.

Основным видом механических свойств бетонов и многих других видов композиционных строительных материалов является прочность сжатие, растяжение и изгиб. При данных испытаниях чаще всего контролируют прочность и упругопластические свойства. В некоторых случаях важнейшими показателями являются: ударостойкость и циклическая

прочность [1-5]. Следует сказать, что кроме разрушающих способов, используются неразрушающие методы оценки прочности и других свойств материалов.

С помощью испытаний, как правило, оценивается стойкость материалов к различным воздействиям эксплуатационных факторов, влажностным условиям. Это объясняется тем, что на строительные конструкции во время эксплуатации воздействуют различные климатические факторы: кислотные дожди, эрозия, микробиологические среды, переменные влажностные условия, морская вода, переменные температуры и давления. К тому же в эксплуата-



ционных условиях на образцах материалов формируется микробное многообразие, разрушающее изделия [6-10].

Для определения прочностных и иных свойств бетонов и других композиционных материалов при сжатии используются отечественные и зарубежные стандарты (ГОСТ и ASTM).

Сущность метода ГОСТ 25.602 – 80 состоит в кратковременном испытании образцов на сжатие с постоянной скоростью деформирования, при которой определяют: предел прочности при сжатии (напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующее разрушению образца), модуль упругости при сжатии (отношение напряжения к соответствующей относительной деформации при сжатии образца в пределах начального линейного участка диаграммы деформирования), коэффициент Пуассона (отношение поперечного относительного удлинения к продольному относительному укорочению образца при сжатии в пределах начального линейного участка диаграммы деформирования).

Аналогичным ГОСТ 25.602 – 80 по методологии, является ASTM D 3410/D 3410M-08, но отличающийся рекомендованной оснасткой – усилие сжатия в образце осуществляется приложением сдвиговой нагрузки с помощью самозатягивающихся клиновых захватов. Для получения результатов испытания образец вставляется в испытательную оснастку, которая устанавливается между плитами испытательной установки и на которую действует усилие сжатия. Предельное напряжение сжатия материала, создаваемое на такой испытательной оснастке и на образце, можно получить из максимального усилия разрушения. Величина деформации постоянно контролируется резисторами или датчиками перемещений. Таким образом, можно определить и вывести значения предельной деформации сжатия, модуля упругости при сжатии и коэффициента Пуассона [11].

При оптимизации бетонов необходимо учитывать множество факторов, таких как:

- влияние состава компонентов, технологической истории формирования структуры материала на его характеристики;
- испытание достаточно больших партий образцов для статистического анализа экспериментальных данных;
- оценка механических показателей в направлениях разных осей анизотропии.

При этом требуется выполнять процедуры кондиционирования образцов в стандартных условиях для получения окончательных составов.

Одним из методов, способствующих повышению эффективности механических испытаний, является использование методики определения твердости на поверхности материалов. Проба на твердость

является неотъемлемой частью любых исследований, связанных с оценкой механических свойств материалов, о чем говорят многочисленные исследования ряда учёных [12-15]. Ряд исследователей [16-18] считает, что при проведении пробы на твердость, деформированием должна быть охвачена как можно большая площадь, так как в этом случае область контактирования позволяет реализоваться всем процессам, присущим пластическому деформированию композита. Рассмотренные положения относятся к методам измерения твёрдости, когда имеют место деформации, неизменно приводящие к разрушению на структурном уровне вследствие наличия значительных контактных напряжений. Не следует оставлять без внимания и большие силовые воздействия на индентор. Кроме этого, деформирование компонентов композита будет проходить крайне неодинаково из-за их различной природы, что также может являться причиной разрушений (в процессе собственных экспериментов наблюдались разрушения опытных образцов). В этой связи, применение методов, основанных на пластическом деформировании, в некоторых случаях вызывает существенные замечания в аспекте получения данных, отражающих совокупность свойств композита, как единого целого, представляющего собой систему «вяжущее-дисперсный наполнитель». Во избежание пластических деформаций, твердость композитов предлагается измерять по методу упругого отскока – метод Шора, где влияние пластических деформаций незначительно [19]. Ряд исследователей считает целесообразным применение метода Шора наряду с рекомендованным ГОСТом методом Баркола. Принято считать, что этот метод оценки материалов отработан с точки зрения достоверности получаемых данных. В Евросоюзе широкое распространение в последнее время получил метод определения универсальной твердости, основанный на вдавливании в исследуемый материал индентора в виде пирамиды Берковича или Виккерса [7]. Значения универсальной твердости согласно стандарта Евросоюза рассчитывают по следующей формуле:

$$HU = \frac{F}{A(h)}, \quad (1)$$

где F – нагрузка, Н; $A(h)$ – площадь боковой поверхности внедренной части индентора, мм².

Известно, что универсальная твердость в значительной степени зависит не только от формы применяемого индентора, но и от испытательной нагрузки, причем характер этой зависимости очень сложный и до настоящего времени полностью не изучен.

При определении универсальной твердости традиционно строят диаграмму индентирования, которая имеет типовой вид, представленный на рис. 1.

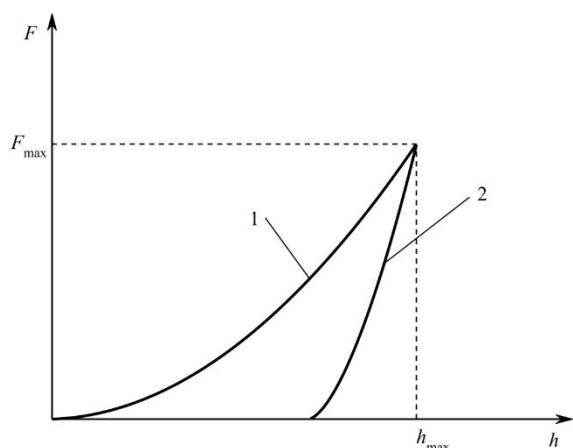


Рис. 1. Диаграмма индентирования [7]:

1 – нагружение; 2 – разгрузка; F – нагрузка;
 h – глубина внедрения индентора, мм

Универсальная твёрдость представляет собой способность материалов сопротивляться упругой деформации, пластической деформации и разрушению в поверхностном слое, т. е. способности выдерживать приложенную нагрузку индентора в широком диапазоне без разрушения или пластической деформации. В зависимости от формы индентора различаются значения испытываемой твердости. Поэтому исследование данной зависимости характеристик, применяемых инденторов имеет важное значение в современном производстве цементных композитов. В наших исследованиях для оценки твердости на поверхности материалов использовали консистометр Гепплера. Данный метод использован при исследовании свойств строительных материалов на основе полимерных и цементных связующих [20].

Для широкого применения в строительной отрасли имеют перспективы бетоны нового поколения, которые состоят из матричных составляющих на основе цемента, воды, пластификаторов и тонкозернистого наполнителя, и заполняющих компонентов на основе заполнителей различных фракций, армирующих компонентов [21].

Благодаря превосходным механическим свойствам и долговечности данные бетоны могут быть использованы для изготовления высокопрочных конструкций, высотных зданий и в качестве ремонтного материала [22]. Механические свойства и долговечность бетона во многом определяются матрицей, соотношением составляющих компонентов в ней, условий отверждения, таких как термообработка и приложенное давление до и во время схватывания [23]. В матрице (цементирующей системе) наиболее предпочтительным для применения цементом является цемент с высоким содержанием кремнезема, который может принимать участие в улучшении механических свойств бетона.

В тоже время следует отметить, что к настоящему времени в недостаточной степени исследованы матричные композиты, содержащие в своем составе различные пигменты, наполнители, ПВА, целлюлозу. При этом в первую очередь является важным установление механических показателей композитов в условиях воздействия климатических условий.

Цель исследования – определить показатели твердости и упругопластических свойств цементных композитов различного состава при нагрузках индентирования.

Задачи исследования:

1. Обосновать выбранный метод исследования стойкости цементных композитов с помощью индентирования консистометром Гепплера.
2. Экспериментально установить влияние на физико-механические свойства цементных композитов различных рецептурных факторов.
3. Выявить наиболее и наименее стойкие составы цементных композитов при выдержке в условиях умеренного климата.

Материалы и методы

Определение физико-механических свойств на поверхности образцов производилось путем внедрения в материал конусообразного индентора с помощью консистометра Гепплера. Консистометр Гепплера является универсальным прибором и может быть применен для определения вязкости, пластичности, эластичности и твердости исследуемых материалов.

Для исследования было подготовлено более 50 образцов цементных композитов с усредненными размерами 10×10×30 мм. Для эксперимента были отобраны образцы, не имеющих повреждений и однородные по структуре. Подготовка образцов к испытаниям на твердость и упругопластические свойства подразумевала климатическое воздействие на них в течение 4 месяцев, включающее их нахождение на воздухе под открытым небом, и навесом, а также в здании при нормальных температурно-влажностных условиях. В испытаниях анализировали 13 различных вариантов цементных композитов (табл. 1).

Поочередно для каждого состава снимались показания индикатора через 1 сек., 1, 3, 5 и 15 мин. после приложения нагрузки и через 1 сек. и 3 мин. после снятия нагрузки. Производилось 3 параллельных измерения с одинаковой нагрузкой на одном образце в различных точках поверхности [24].

В расчетных формулах метода использованы следующие обозначения:

$ho1, h1, h15, h41, h43$ – показания индикатора (измерительного прибора) соответственно при соприкосновении индентора с материалом через 1с, 1



мин, 15 мин после приложения основной нагрузки и через 1 с и 3 мин после её снятия, мм;

Таблица 1. Наименования и составы исследуемых образцов

Наименование образца	Состав
1. ФЦП + RAL6018 (желто-зеленый пигмент)	Песок-48%, цемент-36%, каолин-6%, целлюлоза-9%, вода
2. ФЦП+ RAL6019 (бело-зеленый пигмент)	
3. ФЦП + RAL9003 (белый пигмент)	
4. ФЦП + RAL7046 (серый пигмент)	
5. ФЦП + RAL-8004 (коричневый пигмент)	
6. HD + RAL9002 (светло-серый пигмент)	Целлюлоза-51%, метакаолин-8%, воллостанит-8%, известняк-1%, белый цемент-30%, ПВА-0,7%, вода
7. HD + RAL7021 (черно-серый пигмент)	
8. HD + RAL6021 (бледно-зеленый пигмент)	
9. ФЦП + RAL8028 (терракотовый пигмент)	Песок-48%, цемент-36%, каолин-6%, целлюлоза – 9%, вода
10. ФЦП + RAL7023 (серый бетон пигмент)	
11. ФЦП + RAL8001 (охра пигмент)	
12. ФЦП + RAL8024 (бежево-коричневый пигмент)	
13. ФЦП + RAL1001 (бежевый пигмент)	

Δ_{01} , Δ_1 , Δ_{15} , Δ_{41} , Δ_{43} – глубина погружения индентора через 1 с, 1 мин, 15 мин после приложения основной нагрузки и через 1 с и 1 мин после её снятия, мм;

F_m и F_0 – основная и остаточная нагрузки на индентор.

Твердость (T) композитов вычислялась по формуле:

$$T = \frac{0,318F_m}{tg^2(26,5)\Delta_{15}^2} \quad (2)$$

где F_m – нагрузка; Δ_{15}^2 – среднее значение после 15 минут нагрузки индентора.

Модуль деформации E_d при внедрении КИ определялся по формуле:

$$E_d = \frac{3,18F_mk_1}{tg^2(26,5)\Delta_{15}^3} \quad (3)$$

где F_m – нагрузка; k_1 – коэффициент, учитывающий величину нагрузки на конусообразный индентор; Δ_{15}^2 – среднее значение после 15 минут нагрузки индентора.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Полученные результаты показателей твердости и модуля деформации приведены в табл. 2.

По результатам испытаний, представленным в табл. 2, получены их графические зависимости, показанные на рис. 2, рис. 3.

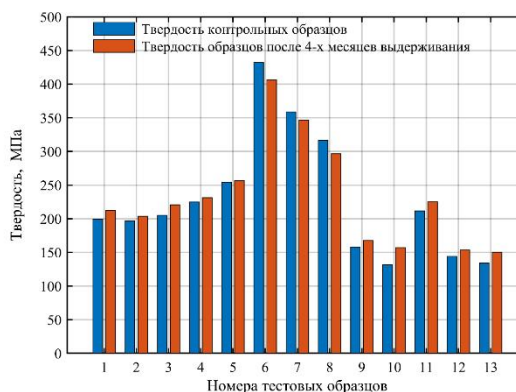


Рис. 2. Изменение показателей твердости образцов

Таблица 2. Результаты испытаний

Номер состава	Состав	Твердость			Модуль деформации		
		ДО	ПОСЛЕ	Кст	ДО	ПОСЛЕ	Кст
1	Песок-48%, цемент-36%, каолин-6%, целлюлоза-9%, вода	199,19	212,42	1,066419	3503,86	3934,20	1,122819
2		197,11	203,83	1,034093	3448,97	3626,85	1,051575
3		205,29	220,59	1,074529	3665,85	4157,76	1,134187
4		224,92	231,36	1,028632	4204,14	4386,02	1,043262
5		254,45	256,72	1,008921	5058,65	5176,16	1,02323
6	Целлюлоза-51%, метакаолин-8%, воллостанит-8%, известняк-1%, белый цемент-30%, ПВА-0,7%, вода	432,08	406,52	0,940844	11193,77	10405,67	0,929595
7		358,62	346,54	0,966315	9088,42	8734,06	0,96101
8		316,74	296,61	0,936446	7976,94	7351,64	0,921612
9	Песок-48%, цемент-36%, каолин-6%, целлюлоза – 9%, вода	157,91	167,75	1,062314	2473,18	2707,79	1,094862
10		131,95	157,17	1,191133	1889,03	2455,83	1,300048
11		211,66	225,15	1,063734	3837,97	4357,02	1,135241
12		144,27	153,56	1,064393	2159,78	2472,54	1,144811
13		134,05	150,15	1,120104	1934,37	2585,63	1,336678

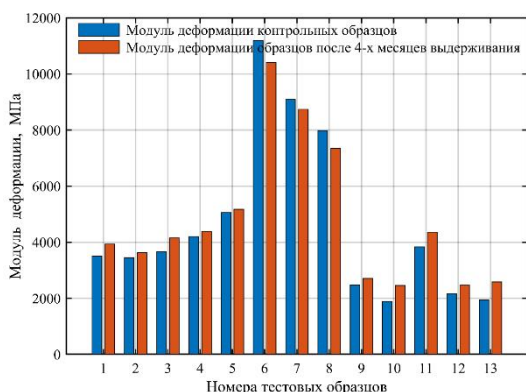


Рис. 3. Изменение показателей модуля деформации образцов

Принимая во внимание данные о коэффициентах стойкости (Кст) из табл. 2, можно построить диаграммы изменения их твердости. Результаты построения представлены на рис. 4 и рис. 5.

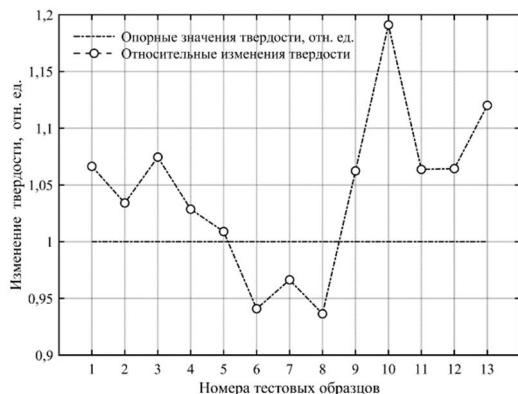


Рис. 4. Изменение твердости тестовых образцов

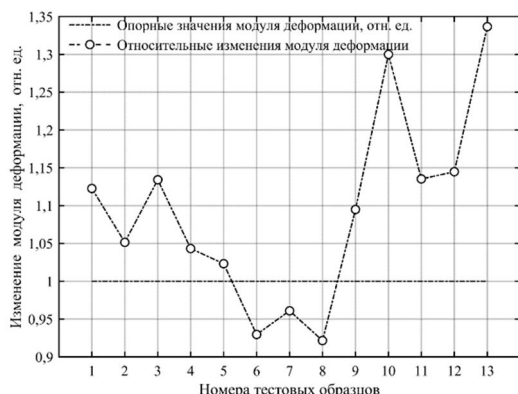


Рис. 5. Изменение модуля деформации тестовых образцов

Для данных, представленных на рис. 4, рис. 5, вычислена среднеквадратическая ошибка относительно опорных значений твердости и модуля деформации при их изменениях во время испытаний [25].

Среднеквадратическая ошибка изменения твердости составляет 0,080264.

Среднеквадратическая ошибка изменения модуля деформации составляет 0,152523.

Кроме того, осуществлено ранжирование образцов относительно абсолютных значений данных по сравнению с уровнем опорных значений, представленных на рис. 4, рис. 5. Ранжирование изменений твердости образцов относительно опорных значений сведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты ранжирования по изменению твердости образцов

Наименования образцов	Абсолютное отклонение, отн. ед.
5. ФЦП + RAL8004 (коричневый пигмент)	0,008921
4. ФЦП + RAL7046 (серый пигмент)	0,028632
7. HD + RAL7021 (черно-серый пигмент)	0,033685
2. ФЦП + RAL6019 (бело-зеленый пигмент)	0,034093
6. HD + RAL9002 (светло-серый пигмент)	0,059156
9. ФЦП + RAL8028 (терракотовый пигмент)	0,062314
8. HD + RAL6021 (бледно-зеленый пигмент)	0,063554
11. ФЦП + RAL8001 (охра пигмент)	0,063734
12. ФЦП + RAL8024 (бежево-коричневый пигмент)	0,064393
1. ФЦП + RAL6018 (желто-зеленый пигмент)	0,066419
3. ФЦП + RAL9003 (белый пигмент)	0,074529
13. ФЦП + RAL1001 (бежевый пигмент)	0,120104
10. ФЦП + RAL7023 (серый бетон пигмент)	0,191133

Ранжирование изменений модуля деформации образцов относительно опорных значений сведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты ранжирования по изменению модуля деформации образцов

Наименования образцов	Абсолютное отклонение, отн. ед.
5. ФЦП + RAL8004 (коричневый пигмент)	0,023230
7. HD + RAL7021 (черно-серый пигмент)	0,038990
4. ФЦП + RAL7046 (серый пигмент)	0,033685
2. ФЦП + RAL6019 (бело-зеленый пигмент)	0,034093
6. HD + RAL9002 (светло-серый пигмент)	0,070405
8. HD + RAL6021 (бледно-зеленый пигмент)	0,078388
9. ФЦП + RAL8028 (терракотовый пигмент)	0,094862
1. ФЦП + RAL6018 (желто-зеленый пигмент)	0,122819
3. ФЦП + RAL9003 (белый пигмент)	0,134187
11. ФЦП + RAL8001 (охра пигмент)	0,135241
12. ФЦП + RAL8024 (бежево-коричневый пигмент)	0,144811
10. ФЦП + RAL7023 (серый бетон пигмент)	0,300048
13. ФЦП + RAL1001 (бежевый пигмент)	0,336678

Как видно из табл. 3 и табл. 4, образец ФЦП + RAL-8004 (коричневый пигмент) является более предпочтительным как по изменению твердости во



время испытаний, так и по изменению модуля деформации.

По стойкости образцы с учетом изменения твердости выстраиваются в следующий ряд: ФЦП+RAL-8004 (коричневый пигмент), ФЦП+RAL7046 (серый пигмент), HD+RAL7021 (черно-серый пигмент), ФЦП+RAL6019 (бело-зеленый пигмент), HD+RAL9002 (светло-серый пигмент), ФЦП+RAL8028 (терракотовый пигмент), HD+RAL6021 (бледно-зеленый пигмент), ФЦП+RAL8001 (охра пигмент), ФЦП+RAL8024 (бежево-коричневый пигмент), ФЦП+RAL6018 (желто-зеленый пигмент), ФЦП+RAL9003 (белый пигмент), ФЦП+RAL1001 (бежевый пигмент), ФЦП+RAL7023 (серый бетон пигмент).

По стойкости образцы с учетом изменения модуля деформации выстраиваются в следующий ряд: ФЦП+RAL8004 (коричневый пигмент), HD+RAL7021 (черно-серый пигмент), ФЦП+RAL7046 (серый пигмент), ФЦП+RAL6019 (бело-зеленый пигмент), HD+RAL9002 (светло-серый пигмент), HD+RAL6021 (бледно-зеленый пигмент), ФЦП+RAL8028 (терракотовый пигмент), ФЦП+RAL6018 (желто-зеленый пигмент), ФЦП+RAL9003 (белый пигмент), ФЦП+RAL8001 (охра пигмент), ФЦП+RAL8024 (бежево-коричневый пигмент), ФЦП+RAL7023 (серый бетон пигмент), ФЦП+RAL1001 (бежевый пигмент).

Выводы

1. Для оценки свойств на поверхности цементных образцов использован метод индентирования с помощью консистометра Гепплера.

2. Как следует из графиков, представленных на рисунках 2-3, характер изменения твердости и модуля деформации образцов в зависимости от состава различен. Для образцов ФЦП в течение 4 месяцев происходило постепенное увеличение твердости и модуля деформации.

3. Наибольший набор твердости характеризуют образцы ФЦП +RAL7023 (серый бетон пигмент), что составляет 17% от контрольного показателя.

4. Наименьший набор твердости соответствует составу ФЦП+RAL-8004 (коричневый пигмент), и составляет около 1%. У второго типа цементных композитов (HD) во всех трех составах диагностировано значительное уменьшение твердости и модуля деформации.

Библиографический список

1. Weerheijm J., Van Doormaal J. Tensile failure of concrete at high loading rates: new test data on strength and fracture energy from instrumented spalling tests. *International Journal of Impact Engineering* 34(3): 2007, с. 609-626.

2. Derluyn H., Derome D., Carmeliet J., Stora E., Barbarulo R. Hysteretic moisture behavior of concrete: modeling

and analysis. *Cement and Concrete Research* 42(10): 2012, с. 1379-1388.

3. Jiang H., He S., Wang J. Numerical simulation of the impact test of reinforced concrete beams. *Zhendong-yuChonhji. Journal of Vibration and Shock* 31(15): 2012, с. 140-145.

4. Xue X., Jang X. A damage model for concrete under cyclic actions. *International Journal of Damage Mechanics* 23(2): 2014, с. 155-177.

5. Maierhofer C., Reinhardt H.W., Dobmann G. Non-Destructive evaluation of reinforced concrete structures: deterioration processes and standard test methods (book). Non-Destructive evaluation of reinforced concrete structures: deterioration processes and standard test methods: 2010, с. 1-250.

6. Fun U., Hu Z., Lu J. Ultrasonic measurement of the depth of corrosion in concrete under the influence of acid. *International Journal of Corrosion*: 2012.

7. Moshenok V.I. Determination of the universal hardness of structural materials using indenters of various shapes. *Bulletin of KhNADU*. 2007. N. 39.

8. Fan, Y.F., Hu, Z.Q., Zhang, Y.Z. Deterioration of compressive property of concrete under simulated acid rain environment. *Construction and Building Materials*: 2010.

9. Wei, S., Jiang, Z., Liu, H. Microbiologically induced deterioration of concrete - A review. *Brazilian Journal of Microbiology*: 2013.

10. Jiang, G., Keller, J., Bond, P.L. Determining the longterm effects of H₂S concentration, relative humidity and air temperature on concrete sewer corrosion. *Water Research*: 2014.

11. Gubsky D. Methods of experimental research of physical-mechanical properties of polymer composite materials. Perm National Research Polytechnic University. Perm, 2016, с. 25-29.

12. Li, H., Liu, D., Lian, B. Microbial Diversity and Community Structure on Corroding Concretes. *Geomicrobiology Journal*: 2012.

13. Zotkina M. M. Development and research of anti-corrosive protective coatings on epoxy binders. *Volgograd state architectural-building university. Volgograd*, 2012, с. 28.

14. Sharafutdinov, K.B., Saraykina, K.A., Kashevarova, G.G., Erofeev, V.T. THE USE OF COPPER NANOMODIFIED CALCIUM CARBONATE AS A BACTERICIDAL ADDITIVE FOR CONCRETE (2022) *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 18 (2), pp. 143-155. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85135941973&doi=10.22337%2f2587-9618-2022-18-2-143-155&partnerID=40&md5=fc2ecaa36461dd20afaa2be7edd8a7ca> DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155

15. Fedortsov, A., Fedortsov, V., Ashchepkov, M.V., Rusakov, K.V., Gladkin, S., Erofeev, V. Improving the strength and resistance of cement composites to the external environment by utilizing complex additives (2021) *E3S Web of Conferences*, 281, art. no. 03014, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85144858704&doi=10.1051%2fe3sconf%2f202128103014&partnerID=40&md5=4503030c26aa434ed0fdb620f11caf62> DOI: 10.1051/e3sconf/202128103014.



16. Bobrishev, A.A., Shafigullin, L.N., Erofeev, V.T., (...), Sotnikov, M.I., Vyacheslav, A. Study of effects of redispersible latex powders on hardening kinetics of cement-sand composites. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 7(4), с. 795-802.
17. Erofeev, V., Bobryshev, A., Lakhno, A., (...), Sibgatullin, K., Igtisamov, R. Theoretical evaluation of rheological state of sand cement composite systems with polyoxyethylene additive using topological dynamics concept. *Solid State Phenomena* 871, с. 96-103.
18. Lesovik, R.V., Klyuyev, S.V., Klyuyev, A.V., (...), Yerofeyev, V.T., Durachenko, A.V. Fine-grain concrete reinforced by polypropylene fiber. *Research Journal of Applied Sciences* 10(10), с. 624-628.
19. Mikhailichenkov A. M., Tyureva A. A., Filin Y. U., Panova E. I. Substantiation of the methodology for determining the hardness of polymer dispersed composite materials. *Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*. Bryansk, 2020, с.55-58.
20. Lee MG, Wang YC, Te Chiu C. A preliminary study of reactive powder concrete as a new repair material. *Constr Build Mater* 2007;21:182–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.06.024>.
21. Richard P, Cheyrezy M. Composition of reactive powder concretes. *CemConcr Res* 1995; 25:1501–11. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2).
22. Matte V, Moranville M. Durability of Reactive Powder Composites: influence of silica fume on the leaching properties of very low water/binder pastes. *CemConcr Compos* 1999. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00025-0).
23. Wang C, Yang C, Liu F, Wan C, Pu X. Preparation of Ultra-High Performance Concrete with common technology and materials. *CemConcr Compos* 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.11.005>.
24. Method for determining the physical and mechanical properties of polymer composites by introducing a cone-shaped indenter. *Research Institute of State Construction of the Estonian SSR*. Tallinn, 1983, с.28.
25. Ерофеев В.Т. Методы обработки экспериментальных данных: учеб. пособие / В.Т. Ерофеев, И.Н. Максимова, В.В. Афонин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. 140 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.06.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.06.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья
УДК 691.327 : 666
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5 Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_3_114

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА КИСЛОТОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

© Авторы, 2023
SPIN: 5847-2328
AutorID: 818486

ФЕДОРЦОВ Владислав Анатольевич
соискатель
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева
(Россия, Саранск)

ГЛАДКИН Сергей Сергеевич
магистрант
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева
(Россия, Саранск)

SPIN: 6931-9945
AutorID: 160959

ФЕДОРЦОВ Анатолий Петрович
кандидат технических наук, доцент
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева
(Россия, Саранск)

SPIN: 4425-5045
AutorID: 161483
ORCID: 0000-0001-8407-8144
Scopus Author ID: 56662851300

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович
академик РААСН, декан архитектурно-строительного факультета,
директор НИИ «Материаловедение», заведующий кафедрой
строительных материалов и технологий, доктор технических наук,
профессор
НИИСФ РААСН; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева (Россия, Саранск, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается влияние комплексной добавки (суперпластификатор “СемPlast”+тетраборат натрия + борная кислота) на прочность коррозионную стойкость цементного камня. Одна составляющая добавки – суперпластификатор из-за уменьшения водоцементного отношения способствует повышению плотности, а соответственно повышению прочности и коррозионной стойкости цементного камня, другие составляющие – борная кислота и тетраборат натрия образуют боратную буферную систему, приводящую к смячению «химического удара» и повышению, таким образом, сопротивления цементного камня действию химически активной среды. Изначально связанные составляющими цементного камня борная кислота и тетраборат натрия, при действии на материал агрессивной среды образуются вновь и уменьшают кислотность среды, т.е. способствуют сохранению pH. При этом добавки могут выходить к поверхности не подвергнутого коррозией материала и замедлять его разрушение. В результате проведенного исследования выявлена эффективность комплексной добавки. Она приводит не только к повышению плотности и прочности цементного камня из-за уменьшения водоцементного отношения, но и повышению кислотостойкости, как по отношению к бездобавочному камню, так и содержащему лишь составляющие буферной системы, из-за недостаточной плотности материала и сравнительно быстрого расхода добавки.

Ключевые слова: цементный камень; комплексные добавки; активные добавки; минеральные добавки; суперпластификатор; твердение; нормальные условия; предел прочности; буферные системы; коррозионная стойкость

Для цитирования: Влияние комплексной добавки на кислотостойкость цементного камня / В.А. Федорцов, С.С. Гладкин, А.П. Федорцов, В.Т. Ерофеев // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 114-120. doi:10.51608/26867818_2023_3_114.



Original article

INFLUENCE OF COMPLEX ADDITIVE ON ACID-RESISTANCE-BONE OF CEMENT STONE

© The Author(s) 2023

FEDORTSOV Vladislav Anatolyevich

applicant

National Research Mordovian Ogarev State University

(Russia, Saransk)

GLADKIN Sergey Sergeevich

master's student

National Research Mordovian Ogarev State University

(Russia, Saransk)

FEDORTSOV Anatoly Petrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

National Research Mordovian Ogarev State University

(Russia, Saransk)

EROFEEV Vladimir Trofimovich

Academician of RAACS, Dean of the Faculty of Architecture and Construction,

Director of the Research Institute "Materials Science", Head of the Department

of Building Materials and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Professor

Research and Development Institute of Building Physics of RAACS; Moscow State

University of Civil Engineering; National Research Mordovian Ogarev State University

(Russia, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)

Abstract. The article discusses the effect of a complex additive (superplasticizer "CemPlast" + sodium tetraborate + boric acid) on the strength and corrosion resistance of cement stone. The superplasticizer, one component of the additive, is responsible for a decrease in the water-cement ratio, which in turn contributes to an increase in density and, consequently, an increase in the strength and corrosion resistance of cement stone. The other components, boric acid and sodium tetraborate, are responsible for a decrease in the water-cement ratio. Boric acid and sodium tetraborate, initially bound by the components of the cement stone, are formed again under the action of an aggressive medium on the material and reduce the acidity of the medium, i.e. contribute to the preservation of pH. At the same time, additives can reach the surface of a non-corroded material and slow down its destruction. As a result of the study, the effectiveness of the complex additive was revealed. It leads not only to an increase in the density and strength of the cement stone due to a decrease in the water-cement ratio but also to an increase in acid resistance, both in relation to a stone without additives, and containing only components of the buffer system, due to insufficient material density and relatively fast consumption of the additive.

Keywords: cementstone; complexadditives; activeadditives; mineraladditives; superplasticizer; hardening; normalconditions; tensilestrength; buffersystems; corrosionresistance

For citation: Influence of complex additive on acid-resistance-bone of cement stone / V.A. Fedortsov, S.S. Gladkin, A.P. Fedortsov, V.T. Erofeev // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 114-120. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_114.

1 Введение

Для улучшения свойств цементных бетонов, в частности повышения их физико-химического и биологического сопротивления, широко практикуются добавки, вводимые в составы при их изготовлении [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Многие современные требования к цементным бетонам достижимы, как правило, при использовании добавок.

Вместе с тем следует отметить, что у добавки может быть один либо несколько физико-химических механизмов взаимодействия с внутренней и внешней средами материала. Во втором случае добавка, как правило, содержит несколько веществ (речь идет о комплексной добавке). Каждое из этих веществ предназначено для обеспечения того или

иного свойства бетонной смеси и (или) бетона. Иными словами, действие комплексной добавки может быть направлено на эффективное обеспечение отдельного свойства или нескольких свойств материала. В связи с этим стоит подчеркнуть, что если каждый отдельно взятый фактор способствует улучшению конкретного свойства, то при их совместном действии эффект заметно усиливается [15].

Вещества с направленными механизмами физико-химического взаимодействия, которые вводятся в материал в небольшом количестве, являются активными добавками. Уточним, активной добавкой считается вещество, вводимое в состав системы и активно взаимодействующее с элементами внутренней и внешней среды (либо, как вариант, только с



элементами одной из них). При этом оно видоизменяет состав и структуру системы, а соответственно модифицирует ее свойства в зависимости от направленности действия [15]. Сегодня повсеместно используются активные минеральные добавки, в состав которых входит аморфный кремнезем и в некоторых случаях содержатся другие соединения (активные глинозем и алюмосиликаты и т.д.). Они обладают способностью связывать гидроксид кальция – самое реакционноспособное составляющее цементного теста (камня). Это предотвращает его вымывание и, соответственно, предохраняет цементный камень от разложения [1, 2, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Имеются исследования, согласно которым активными к составляющим цементного теста добавками можно повысить не только водостойкость, но и коррозионную стойкость в целом. К таким добавкам, например, следует отнести продукт распада цемента в серной кислоте. Он малорастворимый и состоит из двухводного гипса, оксидов кремния, алюминия и железа. Эти же вещества входят в состав основных соединений цементного камня. При их введении в цементное тесто происходит образование низкоосновных силикатов, алюминатов, ферритов кальция и в большей степени гидросульфоалюмината кальция, которые менее активны в серной кислоте, чем гидроксид кальция, и являются центрами формирования структуры [3, 5, 7,15,25].

Согласно исследованиям [15], цементный камень с маршалитом имеет более высокую первоначальную прочность. Однако более высокие показатели прочности и стойкости после выдержки в агрессивной среде (2% H_2SO_4) имеет цементный камень с добавкой продукта коррозии. Так, пропаренный цементный камень с добавкой продукта не теряет прочности в течение 56 суток воздействия среды.

Еще одна разновидность активных добавок – вещества, вводимые в цементные системы для взаимодействия с агрессивными средами и последующего снижения их воздействия на материал [15, 25, 26]. Одни из них малорастворимы – они остаются в объеме материала без движения. Другие водорастворимы – они могут выходить к поверхности композитов и вступать в реакции с проникающими средами, при этом они способны эффективно защищать границы активного материала (а именно цементных композитов) при действии на него водосодержащих сред и проникновении воды с опережением, но только при определенных условиях [25]:

- структура материала должна включать растворимую добавку и растворитель (вода);
- природа добавки, а также состав и строение материала должны обеспечить ее быстрое растворение и заполнение структуры поверхностных слоев;
- количество переносимого через защищаемую поверхность активного вещества добавки в еди-

ницу времени в эквивалентном соотношении должно быть не менее количества агрессивного компонента среды, переносимого за это же отрезок времени.

Очевидно, что длительность защиты композита будет определяться скоростью расхода активного вещества добавки. Чем плотнее материал, тем расход добавки меньше, а соответственно длительность защиты больше. В этой связи внимание заслуживает комплексная добавка, состоящая из водопонижающей части [1, 24,27], позволяющей получить плотный композит, и водорастворимых активных к агрессивной среде составляющих, способных взаимодействиями ослабить ее воздействие [15, 25, 26].

2 Метод

Исследованию подвергали цементные материалы, с добавками и без добавок, полученные из условия равной подвижности смесей, которая достигалась путем введения в составы суперпластификатора. Для изготовления цементного камня применяли портландцемент М500 ОАО «Мордовцемент». Комплексная добавка содержала (табл. 1): борную кислоту (H_3BO_3), тетраборат натрия ($Na_2B_4O_7$)· $10H_2O$ и суперпластификатор - полиметиленафталинсульфонат натрия модифицированный (“СемПлост”, Россия). Очевидно, что цементный камень, полученный из смеси с большим водоцементным отношением будет характеризоваться и большей пористостью.

Таблица 1 – Составы цементных композиций

№ состава	В/Ц	Содержание добавки, % от массы цемента		
		Борная кислота	Тетраборат натрия	Суперпластификатор
1	0.34	0.1%	0.1%	0.7%
2	0.34	0	0	0.7%
3	0.42	0	0	0
4	0.42	0.1%	0.1%	0

Для проведения исследований были изготовлены образцы из цементного камня размером 20×20×20 мм с комплексной добавкой, с отдельными ее составляющими и без добавки согласно табл. 1. Отверждение цементного камня происходило в нормальных условиях ($t = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $W = 95\text{-}100\%$) в течение 28 суток. Затем образцы погружали в 2% раствор серной кислоты, который меняли через каждые две недели выдержки, и после определенного времени воздействия агрессивной среды подвергали испытанию с определением предела прочности при сжатии и коэффициента стойкости. После чего показатели кислотостойкости цементного камня с комплексной добавкой сопоставлялись с аналогичными показателями бездобавочного материала, который включал только одно из составляющих до-



бавки, отвержденных и испытанных подобным же образом.

3 Результаты и обсуждение

Результаты исследования влияния добавок на изменение начальной прочности и коэффициента кислотостойкости цементного камня при выдержке в 2% H_2SO_4 приведены в табл. 2 и 3.

Таблицы 2 – Прочность цементного камня

Номер состава (по таблице №1)	Изменение прочности цементного камня (МПа) от длительности выдерживания образцов в 2% серной кислоте, сут						
	0	7	14	21	28	35	42
1	57,5	47,5	42,5	43,0	46,0	46,0	46,0
2	54,0	43,5	37,0	38,0	43,0	42,0	39,0
3	40,0	37,0	27,5	32,0	34,0	27,0	21,0
4	41,5	37,5	32,5	35,0	32,5	35,0	32,0

Таблица 3 – Коэффициент стойкости цементного камня при экспозиции в агрессивной среде

Номер состава (по таблице №1)	Изменение коэффициента стойкости цементного камня от длительности выдерживания образцов в 2% серной кислоте, сут						
	0	7	14	21	28	35	42
1	1,00	0,82	0,75	0,75	0,81	0,83	0,83
2	1,00	0,80	0,67	0,69	0,79	0,77	0,71
3	1,00	0,90	0,70	0,80	0,85	0,68	0,53
4	1,00	0,90	0,80	0,85	0,93	0,86	0,78

Анализ результатов, приведенных в таблице 2 показывает, что цементный камень с комплексной добавкой, в составе которой – борная кислота, тетраборат натрия и суперпластификатор (см. табл. 1), имеет более высокую прочность на протяжении всего периода воздействия 2% серной кислоты. Помимо этого, цементный камень описанного состава в течение последних двух недель выдержки не утрачивает прочность в агрессивной среде.

Цементный камень, который содержит в качестве добавки только суперпластификатор (состав 2), при той же подвижности, что и у других составов, имеет начальную прочность, которая близка к прочности материала с комплексной добавкой. Вместе с тем для него, так же как и для бездобавочного цементного камня, характерна быстрая потеря прочности в первые две недели выдержки в агрессивной среде. Причем потери в этот период больше, чем в конце выдержки. У цементного камня состава 2, в отличие материала с комплексной добавкой, в конце выдержки не наблюдается стабилизации. Это доказывает позитивное влияние на кислотостойкость добавок, образующих боратную буферную систему.

Влияние добавки борной кислоты и тетрабората натрия сказывается и при отсутствии в составе

цементного камня гиперпластификатора (рис. 2, состав 4). Но при этом материал состава 4 изначально значительно отличается по прочности от цементного камня составов 1 и 2 (табл. 2). Есть также основания полагать, что более высокий В/Ц (а значит, и высокая пористость) по сравнению с цементным камнем состава 1, приводит к быстрому расходу добавок боратной буферной системы, что, в свою очередь, вызывает незатухающую потерю прочности в конце выдержки (табл. 2 и 3).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что влияние комплексной добавки, содержащей боратную буферную систему и гиперпластификатор, на повышение прочности и коррозионной стойкости цементного камня не вызывает сомнений. Опишем физико-химические особенности действия составляющих комплексной добавки и приведем предпосылки их применения.

Для получения прочного и химически стойкого бетона, независимо от проницаемости, необходимо наличие прочных и химически стойких связей между всеми его структурообразующими микро и макроэлементами. В общем случае повышение химического сопротивления материала можно добиться выполнением условия [25]:

$$V_x \ll V_n, \quad (1)$$

где V_x – скорость химического взаимодействия, V_n – скорость проникновения среды.

Принимая во внимание, что всегда проникновение опережает химическое взаимодействие, увеличение плотности структуры материала способствует повышению его физико-химического сопротивления. При этом уменьшение проницаемости с увеличением плотности материала будет способствовать также выравниванию скоростей химического взаимодействия и проникновения. Наконец наступает равенство скоростей, т.е. $V_x = V_n$, которое в дальнейшем сохраняется при любом уменьшении V_n в силу приведенного выше положения, что проникновение среды в материал всегда опережает ее химическое взаимодействие с ним. В этих случаях реакция будет идти в поверхностном слое с очень малой скоростью. Очевидно, что уменьшение пористости отвержденного цементного материала в результате применения суперпластификатора для смеси, с целью получения необходимой подвижности, будет приводить к уменьшению проницаемости, а соответственно к повышению коррозионной стойкости.

В настоящее время суперпластификаторы являются одними из самых распространенных составляющих комплексных добавок (модификаторов). Именно их применение позволяет уменьшать водопотребность смеси и получать высокопрочные, плотные и малопроницаемые цементные композиты, а соответственно и более коррозионностойкие [1, 24, 27, 28].



Если часть агрессивной среды или полностью связывается введенными добавками, то тогда ее количество, находящееся в контакте со структурообразующими компонентами композита в различной степени будет уменьшаться, что равносильно уменьшению проницаемости. Применительно к композиту с активными добавками можем записать [25]:

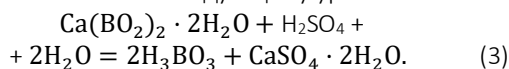
$$V_x + V_c \leq V_n, \quad (2)$$

где V_c – скорость связывания проникающего вещества добавками.

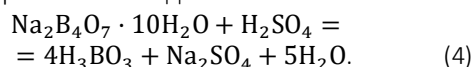
При $V_c = V_n$, скорость химического взаимодействия агрессивной среды со структурообразующими составляющими материала равна нулю, то есть $V_x = 0$. Очевидно, что активные добавки будут являться эффективными при малой проницаемости материала, то есть при большой его плотности. В противном случае добавки быстро расходуются при взаимодействии с агрессивными средами.

Борная кислота (H_3BO_3) и тетраборат натрия ($(Na_2B_4O_7) \cdot 10H_2O$ (бура) в нашем случае водорастворимы и, согласно данным некоторых исследователей [29, 30], при совмещении образуют буферные системы, способствующие сохранению pH среды, а следовательно, и материала при действии на него агрессивных сред. Эти вещества при введении в цементные смеси вступают во взаимодействие с составляющими цементного связующего. В частности, согласно [29], борная кислота реагирует с образованием боратов кальция общей формулы $Ca(BO_2)_2 \cdot nH_2O$. Тетраборат натрия в зависимости от условий отвердевания и эксплуатации цементных композитов, а также их возраста может находиться в свободном, связанном либо частично связанном состоянии с образованием боратов кальция, в том числе тетраборатов.

На поверхности цементного камня при действии на него 2% H_2SO_4 происходит взаимодействие с образованием обеих составляющих буферной системы [31]. Например, при взаимодействии $Ca(BO_2)_2 \cdot 2H_2O$ с раствором H_2SO_4 образуется борная кислота согласно следующему уравнению:



Тетраборат натрия может поставляться непосредственно составляющими материала, в том случае если он содержится в них в свободном виде, либо образовываться при взаимодействии продукта реакции (3) – борной кислоты с едкими щелочами цементного камня. Тетраборат натрия, в свою очередь, взаимодействует с раствором серной кислоты, ослабляя при этом ее воздействие:



Следует отметить, что, по данным [32, 33], pH внутренней среды изменяется медленнее, чем в том случае, когда реакция проходит в отсутствие со-

ставляющих боратной буферной системы. По этой причине замедляется и процесс коррозии цементного камня. Необходимые составляющие буферной системы образуются в поверхностных слоях. Они являются результатом взаимодействия и находятся в растворенном состоянии, поскольку раствор серной кислоты образуется из двух веществ: одно из них, кислота, расходуется на поверхности, а второе, вода, проникает с опережением в поверхностные слои материала и растворяет на внутренней границе зоны взаимодействия составляющие буферной системы. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования подтверждают эффективность комплексной добавки, позволяющей повысить не только прочность, но и кислотостойкость.

4 Выводы

1. Показана способность комплексных добавок эффективно обеспечивать технические свойства цементных композитов. Ее суть в том, что если каждый фактор в отдельности, в том числе добавка с направленным действием, способствует улучшению свойства материала, то при совместном их действии эффект заметно усиливается.

2. Изложены теоретические предпосылки повышения коррозионной стойкости цементного камня за счет введения комплексной добавки, включающей суперпластификатор и активные к агрессивной среде вещества, которые образуют боратную буферную систему.

3. Проведены исследования кислотостойкости цементного камня с комплексной добавкой. Одно составляющее добавки – суперпластификатор, позволяющий повысить прочность, плотность, а соответственно и коррозионную стойкость цементного камня, другое – вещества, образующие боратную буферную систему, которые активно взаимодействуют с агрессивной средой, замедляя изменение pH внутренней среды зоны взаимодействия, и тем самым способствуют повышению кислотостойкости.

4. Установлено, что комплексная добавка способствовала, при равной подвижности цементных смесей, повысить предел прочности при сжатии отвержденного камня на 40 %, коэффициент стойкости в 1,5 раза по сравнению с материалом без добавки.

Библиографический список

1. Добавки в бетон : справочное пособие: пер. с англ. / под. ред. В. С. Рамачандрана. – М. : Стройиздат, 1988. – 575 с.
2. Добролюбов Г. А. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. А. Добролюбов, В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.
3. Erofeev, V., Kalashnikov, V., Karpushin, S., Rodin, A., Smirnov, V., Smirnova, O., Moroz, M., Rimshin, V., Tretiakov, I., Matvievskiy, A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active



mineral additive. *Solid State Phenomena*. 2016. 871. с. 28-32. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.28.

4. Erofeev, V. *Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments*. *Procedia Engineering*. 2016. 165. Pp. 1444-1447. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.877.

5. Erofeev, V., Rodin, A., Rodina, N., Kalashnikov, V., Irina, E. *Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions*. *Procedia Engineering*. 2016. 165. Pp. 1448-1454. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.

6. Gruyaert, E., Van Den Heede, P., Maes, M. and 1 more *Investigation of the influence of blast furnace slag on the resistance of concrete against organic acid or sulphate attack by means of accelerated degradation tests* // *Cement and Concrete Research*. Volume 42, Issue 1, January 2012, Pages 173-185.

7. Bertron, A. *Understanding interactions between cementitious materials and microorganisms: a key to sustainable and safe concrete structures in various contexts* // *Materials and Structures / Materiaux Et Constructions*. Volume 47, Issue 11, 17 October 2014, Pages 1787-1806.

8. Hashem, F.S., Amin, M.S., El-Gamal, S.M.A. *Improvement of acid resistance of Portland Cement pastes using rice husk ash and cement kiln dust as additives* // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Volume 111, Issue 2, February 2013, Pages 1391-1398.

9. Siad, H., Mesbah, H.A., Bernard, S.K. *Influence Of Natural Pozzolan On The Behavior Of Self-Compacting Concrete Under Sulphuric And Hydrochloric Acid Attacks, Comparative Study* // *Arabian Journal for Science and Engineering*. Volume 35, Issue 1, April 2010, Pages 183-195.

10. Fan, Y., Zhang, S., Wang, Q., Shah, S.P. *The effects of nano calcined kaolinite clayton cement mortar exposed to acid deposits* // *Construction and Building Materials*. Volume 102, 15 January 2016, Pages 486-495.

11. Merida, A., Kharchi, F. *Pozzolan Concrete Durability on Sulphate Attack* // *Procedia Engineering*. Volume 114, 2015, Pages 832-837. 1st International Conference on Structural Integrity, ICSI 2015; Funchal, Madeira; Portugal; 1 September 2014 до 4 September 2014.

12. Zhang, G.D., Zhang, X.Z., Zhou, Z.H., Cheng, X. *Preparation and properties of concrete containing iron tailings / manufacturers and as fine aggregate* // *Advanced Materials Research*. Volume 838-841, 2014, Pages 152-155. 2013 2nd Global Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering, GCCSEE 2013; Shenzhen; China; 28 September 2013 до 29 September 2013; Код 101775.

13. Noeiaghahi, T., Dharmi, N., Mukherjee, A. *Nanoparticles surface treatment on cemented materials for inhibition of bacterial growth* // *Construction and Building Materials*. Volume 150, 30 September 2017, Pages 880-891.

14. Bobrishev, A.A., Shafigullin, L.N., Erofeev, V.T., Treshchev, A.A., Sotnikov, M.I., Vyacheslav, A. *Study of effects of redispersible latex powders on hardening kinetics of cement-sand composites*. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. 7(4). Pp. 795-802.

15. Erofeev, V. T. *Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками* / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, В. А. Федорцов // *Строительство и реконструкция*. – 2020. - №2(88). – С. 51 – 60.

16. Кузнецова Т. В. *Активные минеральные добавки и их применение* / Т. В. Кузнецова, З. Б. Энтин и др. // *Цемент*. - 1981. - № 10. – С. 6 – 8.

17. Senhadji, Y., Escadeillas, G., Mouli, M., Khelafi, H., Benosman *Influence of natural pozzolan, silica fume and limestone fine on strength, acid resistance and microstructure of mortar* // *Powder Technology*. Volume 254, March 2014, Pages 314-323.

18. Bederina, M., Makhloufi, Z., Bounoua, A., Bouziani, T.a, Quéneudec, M. *Effect of partial and total replacement of siliceous river sand with limestone crushed sand on the durability of mortars exposed to chemical solutions* // *Construction and Building Materials*. Volume 47, 2013, Pages 146-158.

19. Hendi, A., Rahmani, H., Mostofinejad, D., Tavakolinia, A., Khosravi, M. *Simultaneous effects of micro silica and nano silica on self consolidating Concrete in a sulfuric acid medium* // *Construction and Building Materials*. Volume 152, 15 October 2017, Pages 192-205.

20. Amin, M., Bassuoni, M.T. *Response of concrete with blended binders and nanoparticles to sulfuric acid attack* // *Magazine of Concrete Research*. Volume 70, Issue 12, 1 June 2018, Pages 617-632.

21. Strigáč, J., Martauz, P., Eštoková, A., Številová, N., Luptáková, A. *Bio-corrosion resistance of concretes containing antimicrobial ground granulated blast furnace slag BIOLANOVA and novel hybrid HCEMENT* // *Solid State Phenomena*. Volume 244, 2016, Pages 57-64. International Conference on Particulate Solids in Science, Industry and Environment, 2015; Herlany; Slovakia; 21 September 2015 до 22 September 2015; Код 185679.

22. Anandan, S., Sounthararajan, V.M., Sengottian, T. *Corrosion effects on the strength properties of steel fibre reinforced concrete containing slag and corrosion inhibitor* // *International Journal of Corrosion*. Volume 2014, 1 January 2014, Номер статьи 595040.

23. Barbhuiya, S.A., Basheer, P.A.M., Clark, M.W., Rankin, G.I.B., Frost, P. *An investigation into the behaviour of concrete contain in sea water neutralized bauxite refinery residues in silage effluent* // *Biosystems Engineering*. Volume 106, Issue 4, August 2010, Pages 433-439.

24. Гуляев Е.В. *Влияние содержания воды, вида суперпластификатора и гиперпластификатора на растекаемость суспензий и прочностные свойства цементного камня* / Е.В. Гуляев, И.В. Ерофеева, В.И. Калашников, А.В. Петухов // *Молодой ученый*. – 2014. -№19. –С.191 – 194.

25. 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.

26. Федорцов В. А. *Выбор активных добавок для повышения сопротивления цементных композитов воздействию агрессивных сред* / В. А. Федорцов, В. Т. Ерофеев // *Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы Международной научно-технической конференции*. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 113-115.

27. Калашников В.И. *Высокоэффективные самоуплотняющиеся порошково - активированные песчаные бетоны фибробетоны* / В.И. Калашников, И.В. Ерофеева, В.М. Володин, Д.А. Абрамов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. - №1 – 2.



28. Батраков В. Г. Проблема коррозии модифицированных бетонов / В.Г. Батраков // Бетон и железобетон. 2006. - № 6. - С. 30-31.
29. Химический энциклопедический словарь / гл. ред. И. Л. Кнунянц. – М. Совет.энцикл., 1983. – 792 с.
30. Справочник химика-аналитика / А. И. Лазарев, И. П. Харламов, П. Я. Яковлев, Е. Ф. Яковлева. – М. : Металлургия, 1976. – 184 с.
31. Федорцов А. П. Повышение физико-химического сопротивления цементных композитов добавками, образующими боратные буферные системы / А. П. Федорцов // Наука и инновации в Республике Мордовия: материалы III респ. науч.- практ. конф., в 3 ч. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – Ч. 1. – С. 145 – 147.
32. Ерофеев В.Т. Основы теории повышения сопротивления бетонов биологическим и химическим воздействиям посредством буферных систем / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Ф. Андронов // Вестник Отделения строительных наук РААСН. 2004. Вып. 8. С. 176-179.
33. Соломатов В. И. Цементные растворы с буферными системами / В. И. Соломатов, С. В. Дудынов, А. П. Федорцов // Изв. Вузов. Сер. Стр-во [Новосибирск]. – 1995. - № 7 – 8. – С. 54 – 58.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.06.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.06.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья
УДК 691.3
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5 Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_3_121

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕНОСТЕКЛА

© Авторы 2023
SPIN: 1840-8194
AuthorID: 105900
Scopus ID: 7005670404
ORCID:0000-0001-6117-7529
SPIN: 3185-5193
AuthorID: 802943
ScopusID: 57204434215
ORCID: 0000-0001-8460-9056

SPIN: 7045-8825
AuthorID: 562201
ScopusID: 35519681000
ORCID: 0000-0002-7552-1885

ФЕДОСОВ Сергей Викторович
академик РААСН, доктор технических наук, профессор
*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*
(Россия, Москва, e-mail: fedosovsv@mgsu.ru)

БАКАНОВ Максим Олегович
Доктор технических наук, советник РААСН, доцент, начальник
учебно-научного комплекса «Пожаротушение»
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
(Россия, Иваново, e-mail: mask-13@mail.ru)

ГРУШКО Ирина Сергеевна
кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное,
гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»
*Южно-Российский государственный политехнический универси-
тет (НПИ) имени М.И. Платова*
(Россия, Новочеркасск, e-mail: grushkoi@gmail.com)

Аннотация. Строительный комплекс является важной составляющей в проблеме энергосбережения. Одним из направлений снижения тепловых потерь является увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций за счет применения эффективных и долговечных теплоизоляционных материалов. Соответствующим набором свойств потенциально обладает строительный теплоизоляционный материал пеностекло. Совершенствование и оптимизация его отдельных свойств является актуальной научной задачей. Эффективным методом проектирования новых структур материалов и способов их создания являются различные методы математического моделирования. При работе с многокомпонентными сырьевыми материалами для получения пеностекла аналитически оценить их совместное влияние на структуру и эксплуатационные свойства затруднительно, в связи с чем наиболее широко используются лабораторные исследования. Использование регрессионных моделей для прогнозирования эксплуатационных свойств по шихтовым составам позволяет значительно снизить количество лабораторных опытов. В работе рассмотрены вопросы, касающиеся разработки математического описания степени влияния различных добавок в шихте на эксплуатационные свойства пеностекла в виде совокупности математических моделей, обеспечивающих возможность прогнозирования эксплуатационных свойств пеностекла по его химическому составу. Разработано 9 составов шихты для синтеза пеностекла с определенными химическими составами. Методами рентгенофазового анализа и микротомографии определены параметры микроструктуры: пористость, толщина межпоровой перегородки, количество аморфной и кристаллической фаз, а также составляющих последней – кварца, пироксена, кристобалита, нефелина, эсколаита, волластонита. С применением методик, соответствующих ГОСТ, определены показатели теплопроводности, плотности и прочности. С использованием программной среды Jupyter Notebook и библиотеки статистического анализа SciKit-Learn на языке программирования Python выполнена разработка и тестирование регрессионных моделей. Проведен анализ коэффициентов уравнений регрессий и расчетных значений погрешности моделирования. Обоснована эффективность двухэтапного прогнозирования по характеристикам микроструктуры, определяемым по данным о химическом составе, причем на базе моделей, учитывающих не только отдельные факторы, но и их парные сочетания.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы; пеностекло; регрессионный анализ; рентгенофазовый анализ; микротомографический анализ; химический состав; микроструктура; эксплуатационные свойства

Для цитирования: Федосов С.В., Баканов М.О., Грушко И.С. Использование регрессионного анализа для прогнозирования эксплуатационных свойств пеностекла // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 121-130. doi:10.51608/26867818_2023_3_121.



Original article

USE OF REGRESSION ANALYSIS FOR PREDICTION OF THE PERFORMANCE PROPERTIES OF FOAM GLASS

© 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)

BAKANOV Maksim Olegovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Firefighting
Educational and Scientific Research Complex
*Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian
Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences
of Natural Disasters (Russia, Ivanovo, e-mail: mask-13@mail.ru)*

GRUSHKO Irina Sergeevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial,
Civil Engineering, Geotechnical and Foundation Engineering
*Platov South-Russian State Polytechnic University
(Russia, Novocherkassk, e-mail: grushkois@gmail.com)*

Abstract. The building complex is important in the issue of energy saving. One of the ways to reduce heat losses is to increase the resistance to heat transfer of enclosing structures through the use of efficient and durable heat-insulating materials. The building heat-insulating material foam glass potentially possesses the corresponding set of properties. Improvement and optimization of its individual properties is an urgent scientific challenge. An effective method for designing new structures of materials and ways to create them are various methods of mathematical modeling. When working with multicomponent raw materials for the production of foam glass, it is difficult to analytically evaluate their combined effect on the structure and performance properties, and therefore laboratory studies are most widely used. The use of regression models to predict the performance properties of charge compositions can significantly reduce the number of laboratory experiments. The paper deals with issues related to the development of a mathematical description of the degree of influence of various additives in the charge on the performance properties of foam glass, in the form of a set of mathematical models that provide the ability to predict the performance properties of foam glass by its chemical composition. Nine charge compositions for the synthesis of foam glass with certain chemical compositions have been developed. Using X-ray phase analysis and microtomography, the parameters of the microstructure were determined: porosity, thickness of the interpore partition, the number of amorphous and crystalline phases, as well as the components of the latter - quartz, pyroxene, cristobalite, nepheline, eskolaite, wollastonite. Using methods corresponding to GOST, indicators of thermal conductivity, density and strength are determined. Using the Jupyter Notebook software environment and the SciKit-Learn statistical analysis library in the Python programming language, we developed and tested regression models. The analysis of the coefficients of the regression equations and the calculated values of the modeling error was carried out. The effectiveness of two-stage prediction based on the characteristics of the microstructure, determined from the data on the chemical composition, is substantiated, moreover, on the basis of models that consider not only individual factors, but also their pair combinations.

Keywords: thermal insulation materials; foam glass; regression analysis; x-ray phase analysis; microtomographic analysis; chemical composition; microstructure; operational properties

For citation: Fedosov S.V., Bakanov M.O., Grushko I.S. Use of regression analysis for prediction of the performance properties of foam glass // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 121-130. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_121.

Введение. Создание новых теплоизоляционных материалов с необходимым набором эксплуатационных характеристик, а также оптимизация отдельных свойств существующих материалов является актуальной задачей в области производства строительных материалов [1]. Строительный теплоизоляционный материал пеностекло обладает низкой теплопроводностью, высокой прочностью, морозостойкостью, низкой плотностью [2-3]. Физические свойства пеностекла зависят, в том числе, и от его макро- и микроструктуры, которые регулируются

изменением температурного режима синтеза и модификацией состава путем введения различных добавок [4-10]. При формировании структуры пеностекла, межпоровые перегородки которого традиционно состоят из аморфной фазы (т.е. стекла), возможно, создание кристаллических фаз (кварц, wollastonit и др.) путем направленной кристаллизации. Совершенствование структуры пеностекла, обеспечивающее улучшение его отдельных характеристик, не противоречащих требованиям соответствующих нормативных документов [11-16], может



быть выполнено с применением различных методов математического моделирования [17-18]. Среди указанных методов отдельно можно выделить статистические, в частности, метод регрессионного анализа [19-23]. Данный метод позволяет провести качественный и количественный анализ влияния факторов на эксплуатационные свойства материала. В настоящей работе в качестве факторов определены состав исходной шихты и параметры микроструктуры материала. Оценка влияния отдельных факторов представляется достаточно тривиальной задачей, однако при работе с системами стекол, содержащих 15 и более оксидов, оценить их совместное влияние на структуру и эксплуатационные свойства пеностекла является затруднительным.

Методология. Цель: установление физико-химических закономерностей процесса структурообразования пеностекла, синтезируемого при температурах ниже 850 °С с учетом прогнозирования эксплуатационных свойств на основе варьирования компонентов химического состава шихты. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформировать составы шихты для синтеза пеностекла;
2. Определить параметры микроструктуры (качественный и количественный фазовый состав,

количество кристаллической и аморфной фазы, пористость, толщина межпоровой перегородки) и эксплуатационные свойства образцов пеностекла (теплопроводность, плотность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно лицевым поверхностям, прочность при действии сосредоточенной нагрузки);

3. Разработать регрессионные модели, описывающие непосредственное влияние химического состава на эксплуатационные свойства;

4. Разработать регрессионные модели, описывающие последовательное влияние химического состава на микроструктуру образца и микроструктуру образца на эксплуатационные свойства;

5. Исследовать разработанные регрессионные модели на адекватность и воспроизводимость;

6. Исследовать возможность повышения точности за счет учета сочетания факторов.

Структурно-логическая схема исследования представлена на рисунке 1.

При исследовании микроструктуры образцов использован метод рентгенофазового анализа для определения количественного и качественного фазового состава образцов пеностекла. Исследования образцов выполнены с использованием автоматического порошкового дифрактометра Bruker D2 Phaser.

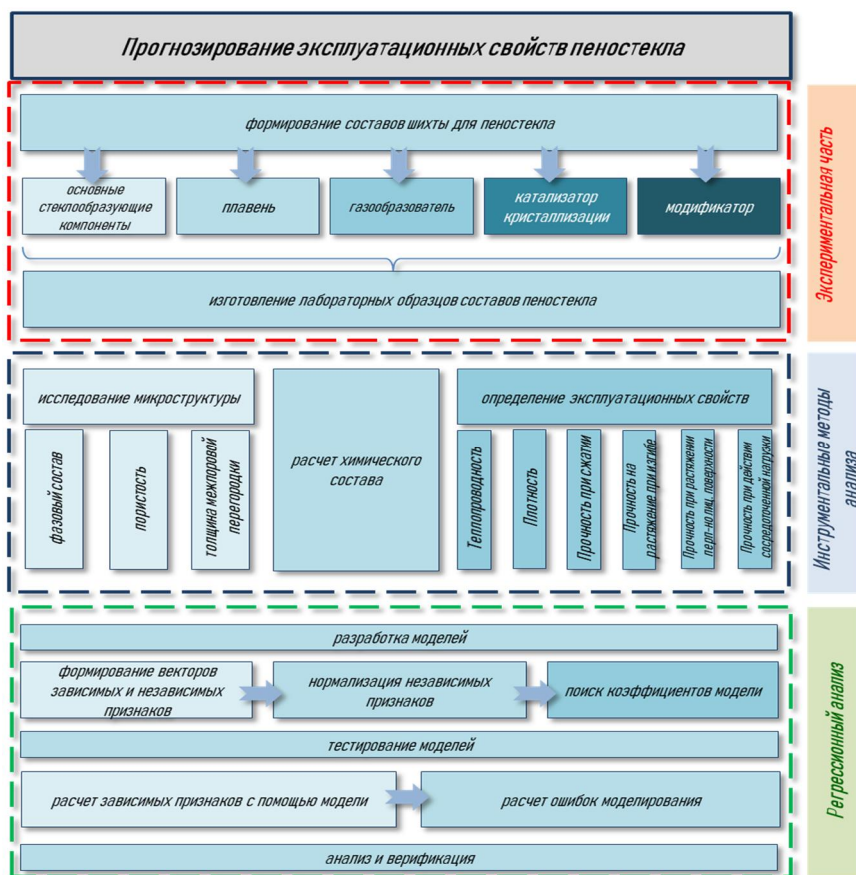


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема исследования



Идентификация фаз выполнена с использованием программного комплекса PDXL2 (Rigaku) и базы порошковых дифракционных данных Powder Diffraction File (PDF-2, 2020). Качественный и количественный фазовый анализ проведен с использованием программного комплекса TOPAS методом полнопрофильного анализа (метод Ритвельда) с использованием структурных данных для каждой из фаз из базы Inorganic Crystal Structure Database (ICSD 2021/1).

Пористость и толщина межпоровой перегородки определены методом микротомографического анализа. Сканирование осуществлялось при помощи микротомографа «Skyscan-1172». Расчет и анализ микротомографической пористости проводился при помощи прикладного ПО CTAn (Bruker).

Химические составы пеностекла определены посредством теоретического расчета шихты [23]. Эксплуатационные свойства образцов пеностекла (теплопроводность, плотность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно лицевым поверхностям, прочность при действии сосредоточенной нагрузки) определены по методикам, изложенным в нормативно-технической литературе [11-16].

Исследования закономерности влияния микроструктуры пеностекла на его свойства проведены с применением регрессионного и корреляционного анализов в среде Jupyter Notebook на языке программирования Python с применением дополнительной библиотеки статистического анализа SciKit-Learn [24]. Для регрессионного анализа использована модель множественной линейной регрессии с методом градиентного спуска для минимизации ошибки и предварительной нормализацией данных через среднее значение и стандартное отклонение. Для оценки ошибки модели на этапе поиска коэффициентов использована метрика среднеквадратичной ошибки (MSE), для оценки качества модели на финальном этапе – квадратный корень средней квадратичной ошибки (RMSE).

Экспериментальная часть. Для использования регрессионного анализа необходимо сформировать достаточный набор исходных данных. В рамках подготовительных работ были синтезированы 9 составов пеностекла по единому температурно-временному режиму.

С целью формирования кристаллической фазы в аморфном каркасе материала при подборе составов шихты использованы катализаторы кристаллизации, наиболее эффективные применительно к составу пеностекла, рассматриваемого в настоящей работе [25]. Количество составов определено по принципу минимальной достаточности для синтеза линейной модели. Нулевой состав считается базовым, содержит только основные компоненты и не содержит катализаторы кристаллизации и моди-

фикаторы. В нем кристаллизация может возникнуть только на основе кристаллических фаз, содержащихся в исходном сырье. Количество дополнительных компонентов (катализаторов кристаллизации и модификаторов) – 4. Каждый компонент для синтеза линейной модели должен быть представлен минимум двумя уровнями. С целью повышения достоверности установленного влияния каждый уровень повторялся два раза. Итоговое количество необходимых для соблюдения данных условий экспериментов – 9. Подбор составов шихт для исследования построен следующим образом. Для корректного использования теории линеаризации диапазоны варьирования должны быть достаточно узкими. Составы 1 и 2 содержат оксид хрома в количестве 0,75 и 1,0 г соответственно. На их примере рассмотрено количественное влияние оксида, который выступает в роли катализатора кристаллизации. Составы 3-8 содержат мел для оценки его влияния на аморфно-кристаллический каркас материала. Технический мел активизирует порообразование, нивелируя влияние процесса кристаллизации. Содержание мела составляет 2 г и 5 г. Составы 3 и 4 содержат диоксид циркония, составы 5 и 6 – оксид магния, составы 7 и 8 – оксид хрома. Катализаторы кристаллизации добавлены в количестве 0 и 0,25 г. Химический состав компонентов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический оксидный состав исследуемых образцов

№ образца	Оксидный состав, масс.%							
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
0	63,13	0,27	8,17	3,56	0,04	3,16	6,73	11,50
1	62,96	0,25	7,49	3,27	0,03	2,90	6,16	11,30
2	62,84	0,25	7,48	3,26	0,04	2,89	6,15	11,28
3	62,28	0,25	7,42	3,23	0,50	2,88	7,13	11,19
4	61,88	0,25	7,29	3,18	0,04	2,84	8,53	11,00
5	62,57	0,25	7,45	3,25	0,04	3,19	7,17	11,25
6	61,88	0,25	7,29	3,18	0,04	3,12	8,53	11,00
7	62,57	0,25	7,45	3,25	0,04	2,90	7,17	11,25
8	61,88	0,25	7,29	3,18	0,04	2,84	8,53	11,00
№ образца	Оксидный состав, масс.%							
	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	SO ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	B ₂ O ₃	ZrO ₂
0	1,40	0,04	0,04	0,02	0,009	0,006	1,90	-
1	1,29	0,03	0,04	0,02	-	0,77	3,48	-
2	1,28	0,04	0,05	0,03	0,02	0,97	3,48	-
3	1,29	0,04	0,05	0,03	0,02	-	3,45	0,30
4	1,25	0,04	0,04	0,03	0,02	-	3,4	0,29
5	1,29	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02	3,46	-
6	1,25	0,04	0,04	0,03	0,02	-	3,40	-
7	1,29	0,04	0,05	0,03	0,02	0,31	3,46	-
8	1,25	0,04	0,04	0,03	0,02	0,29	3,40	-

Образцы подготовлены следующим образом. Предварительная подготовка золошлаковой смеси, боя тарного стекла включала грубое измельчение с использованием щековой дробилки ШД-6, измель-

чение с помощью загрузки золошлаковой смеси в фарфоровый барабан объемом 5 л с мелющими телами и его размещение на вращающиеся валки, отсев с использованием автоматической установки. Размер сита (0,08) в соответствии с [26]. Размер зерен для производства пеностекла выбран с учетом требований заводов-производителей и их технологических регламентов производства, имеющееся оборудование (на заводах для производства строительных материалов нормируется размер зерна, прошедший через сито 0,08; более мелкий размер сырьевых материалов не применяется для данной группы товаров). Дополнительные компоненты использованы в чистом виде. Оксид хрома и оксид магния не требовал предварительной подготовки. Диоксид циркония измельчен и отсеян (сито 0,08). Все сырьевые компоненты в соответствии с заданным составом отвешены на электронных весах, смешаны до однородной массы, увлажнены в количестве 5 % от общей массы. Шихта упакована в герметичные пакеты и выдержана в течение 2 ч для более равномерного увлажнения по массе. Формовка осуществлена в форме цилиндра ЛО257 с помощью гидравлического пресса (рис. 2,а), приложенная нагрузка составила 70 кгс.

Температурный режим синтеза приведен на рисунке 3: холодные образцы загружены в печь при температуре 25 °С, далее со скоростью 10 °С/мин осуществлен нагрев до 350 °С. Выдержка при 350 °С составила 40 мин. Далее со скоростью 20 °С/мин осуществлен нагрев до 830 °С, выдержка при 830 °С – 30 мин. Далее термоударом температура снижена до 600 °С, выдержка при 600 °С – 40 мин. Отжиг выполнен при самопроизвольном охлаждении до температуры 25 °С. Разработанный температурно-временной режим способен обеспечить формирование качественной пористой структуры материала. Пример синтезированного образца представлен на рисунке 2,б.



а)



б)

Рисунок 2 – Образцы пеностекла: а – подготовленные к тепловой обработке; б – после тепловой обработки

В лабораторных условиях определены эксплуатационные свойства пеностекла (теплопроводность, плотность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно лицевым поверхностям, прочность при действии сосредоточенной нагрузки), а также параметры микроструктуры (качественный и количественный фазовый состав, количество кристаллической и аморфной фазы, пористость, толщина межпоровой перегородки). Диапазоны изменений и средние значения данных величин, соответствующие области потенциально возможного диапазона применения разрабатываемых моделей, представлены в таблице 2. Каждое среднее значение рассчитано как среднее арифметическое параметра по 9 составам.

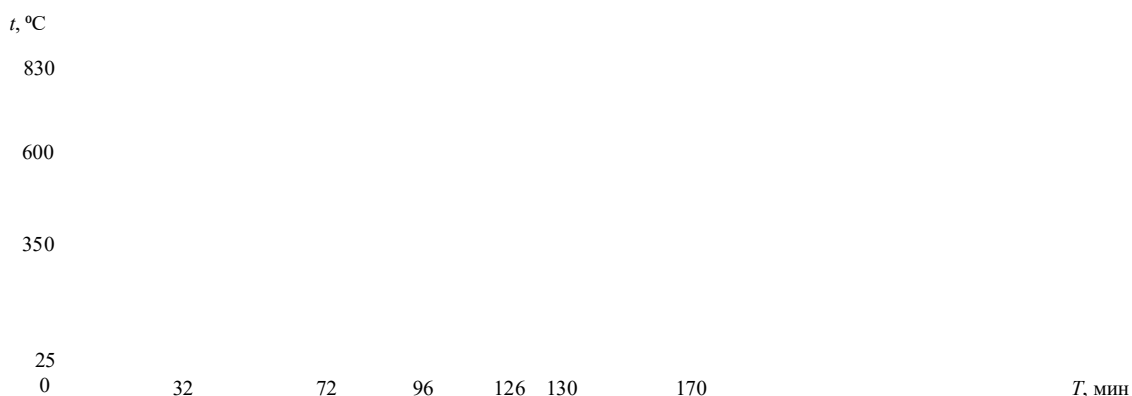


Рисунок 3 – Температурный режим синтеза образцов пеностекла



Таблица 2. Диапазоны изменений эксплуатационных свойств и параметров микроструктуры

Параметр	Максимальное значение	Минимальное значение	Среднее значение
Теплопроводность	0,17	0,11	0,14
Плотность, ρ , кг/м ³	900,13	658,50	791,62
Прочность при сжатии, МПа	29,70	7,52	18,01
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	0,90	0,34	0,61
Прочность при растяжении перп-но лиц. пов., МПа	19,44	9,78	14,01
Прочность при действии сокр. нагр., МПа	27,31	6,64	15,40
Пористость, %	77,30	56,10	70,19
Толщина межпоровых перегородок, мм	0,36	0,17	0,29
Количественные значения кристаллических фаз, %	21,54	0,60	4,39
Количество аморфной фазы, %	43,30	8,36	25,42
Кварц SiO ₂ , %	10,80	5,30	7,59
Пироксен (диопсид) Ca(Mg,Fe)(Si ₂ O ₆), %	72,40	44,80	62,03
Кристаллит SiO ₂ , %	15,50	1,90	6,37
Нефелин Na ₃ K(AlSiO ₄) ₄ , %	6,70	1,30	4,29
Эсколаит Cr ₂ O ₃ , %	10,10	0,00	2,73
Волластонит Ca(SiO ₃), %	37,70	0,00	16,92

Все полученные значения (химический состав, параметры микроструктуры, эксплуатационные свойства) объединены в единую таблицу в формате *.csv и средствами языка Python загружены в оперативную память программы в среде Jupyter Notebook. Этап разработки регрессионных моделей структурирован по двум ранее определенным сценариям и описан ниже.

Сценарий №1 – получение уравнений регрессии, описывающих влияние химического состава на эксплуатационные свойства. В качестве вектора независимых параметров определены процентные доли компонентов SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, BaO, SO₃, V₂O₅, Cr₂O₃, B₂O₃, ZrO₂.

В качестве зависимых параметров последовательно принимались теплопроводность, плотность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно лицевой поверхности, прочность при действии сосредоточенной нагрузки.

Вектор независимых параметров нормализован через стандартное отклонение посредством функции библиотеки SciKit-Learn sklearn.preprocessing.StandardScaler. Для настройки регрессионной модели использована функция sklearn.linear_model.SGDRegressor. Данная функция позволяет автоматически находить коэффициенты регрессионной модели методом градиентного спуска. Разработчик определяет минимизируемую величину (в данном случае использована метрика среднеквад-

ратичной ошибки MSE) и значения гиперпараметров метода градиентного спуска: скорость обучения *eta0* (в данном случае определена на уровне 0.01) и момент останова посредством параметра *tol* (в данном случае определен на уровне 0.0001, т.е. алгоритм SGDRegressor прекратит модификацию коэффициентов регрессионной модели, если последнее их изменение приведет к изменению MSE менее чем на 0.0001 о.е.).

Значения гиперпараметров выбраны исходя из общих рекомендаций для пользователей библиотеки SciKit-Learn [24]. Для каждого зависимого параметра определялись коэффициенты двух регрессионных моделей:

- регрессионная модель, учитывающая влияние отдельных независимых переменных;
- регрессионная модель, учитывающая как влияние отдельных независимых переменных, так и их парных сочетаний, но без учета квадратичных зависимостей.

Итоговое количество разработанных моделей составило 12 – удвоенное число определенных выше зависимых (эксплуатационных) параметров.

Сценарий №2 – получение уравнений регрессии, описывающих влияние химического состава на микроструктуру образца, и уравнений регрессии, описывающих влияние микроструктуры образца на эксплуатационные свойства. Данный сценарий состоял из двух этапов.

На первом этапе в качестве вектора независимых параметров определены процентные доли компонентов SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, BaO, SO₃, V₂O₅, Cr₂O₃, B₂O₃, ZrO₂.

В качестве зависимых параметров последовательно принимались пористость, толщина межпоровой перегородки, количество кристаллической фазы, количество аморфной фазы, количество кварца, количество пироксена, количество кристаллита, количества нефелина, количество эсколаита, количество волластонита.

Вектор независимых параметров использован в виде нормализованных данных, полученных для сценария №1. Для настройки регрессионной модели использована та же функция sklearn.linear_model.SGDRegressor с аналогичными значениями гиперпараметров. Для каждого зависимого параметра определялись коэффициенты двух аналогичных регрессионных моделей.

Итоговое количество разработанных на данном этапе моделей составило 20 – удвоенное число определенных выше зависимых параметров, характеризующих микроструктуру.

На втором этапе в качестве вектора независимых параметров определены уже пористость, толщина межпоровой перегородки, количество кристаллической фазы, количество аморфной фазы, ко-



личество кварца, количество пироксена, количество кристобалита, количество нефелина, количество эсколаита, количество волластонита; а в качестве зависимых параметров последовательно принимались теплопроводность, плотность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно лицевой поверхности, прочность при действии сосредоточенной нагрузки.

Вектор независимых параметров повергнут нормализации данных через стандартное отклонение посредством функции библиотеки SciKit-Learn `sklearn.preprocessing.StandardScaler`. Для настройки регрессионной модели использована та же функция `sklearn.linear_model.SGDRegressor` с аналогичными значениями гиперпараметров. Для каждого зависимого параметра определялись коэффициенты двух аналогичных регрессионных моделей.

Итоговое количество разработанных на данном этапе моделей составило 12, а общее число моделей по сценарию №2 – 32.

Для каждой модели рассчитаны величины RMSE – квадратного корня средней квадратичной ошибки по классической формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}, \quad (1)$$

где N – количество экспериментальных данных, что соответствует количеству образцов; y_i – величина зависимой переменной y , полученной для i -го образца экспериментально (образцовая величина); \hat{y}_i – величина зависимой переменной y , полученной для i -го образца с использованием модели.

Значения величины RMSE преобразованы в величины относительной приведенной погрешности δ в соответствии с выражением:

$$\delta = \frac{RMSE}{y_{max}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где y_{max} – максимальное значение из результатов измерений зависимой переменной y , по всему множеству образцов.

Кроме того, модели проверены на воспроизводимость. Расчет коэффициентов модели выполнен не менее 5 раз, полученные значения показали стабильность в пределах $\pm 10\%$.

Результаты и обсуждения. Ввиду значительного объема разработанных моделей (Сценарий №1 – 12, Сценарий №2 – 32) приведены некоторые из выражений, использованных для предварительной оценки адекватности полученных результатов на основании принципа непротиворечивости теоретическим положениям и известным логическим связям, описывающим термохимические превращения. В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:

$$x_k = f(v_k) = \frac{v_k - u}{s}, \quad (3)$$

где v_k – процентное содержание соответствующего компонента (оксида), u – среднее значение входных данных (рассчитывается по всем значениям хим. состава), s – стандартное отклонение исходных данных от среднего (рассчитывается по всем значениям хим. состава).

1) Регрессионная модель зависимости количества кристаллической фазы от доли определенного химического соединения в исходной шихте, отражающая первичную значимость увеличения количества Cr_2O_3 в исходном составе на повышение количества кристаллической фазы в результирующем образце:

$$K(x_{k,i}) = 6.88x_{Cr_2O_3} - 3.19x_{CaO} + 2.33x_{MgO} + 2.22x_{ZrO_2} + 2.22x_{P_2O_5} - 1.95x_{K_2O} - 1.79x_{BaO} + 1.72x_{V_2O_5} + 1.17x_{SO_3} - 1.04x_{Na_2O} + 0.72x_{SiO_2} + 0.67x_{TiO_2} - 0.66x_{B_2O_3} + 0.25x_{Al_2O_3} + 0.08x_{Fe_2O_3} + 0.002x_{MnO} + 4.39. \quad (4)$$

2) Регрессионная модель зависимости количества аморфной фазы от доли определенного химического соединения в исходной шихте, отражающая первичную значимость уменьшения количества Cr_2O_3 в исходном составе на повышение количества кристаллической фазы в результирующем образце:

$$A(x_{k,i}) = -4.58x_{Cr_2O_3} + 2.53x_{CaO} + 1.65x_{K_2O} - 1.56x_{SO_3} - 1.53x_{V_2O_5} - 1.30x_{MgO} - 1.14x_{P_2O_5} - 1.03x_{B_2O_3} + 0.93x_{TiO_2} - 0.86x_{BaO} - 0.81x_{SiO_2} + 0.75x_{Fe_2O_3} + 0.66x_{Al_2O_3} + 0.34x_{Na_2O} + 0.17x_{ZrO_2} + 0.06x_{MnO} + 25.42 \quad (5)$$

3) Регрессионная модель зависимости количества эсколаита Cr_2O_3 от доли химических соединений в исходной шихте, а также их сочетаний (15 наиболее значимых), отражающая первичную значимость увеличения Cr_2O_3 во всех сочетаниях:

$$n_e(x_{k,i}, x_{k,j}) = (2.17x_{BaO}x_{Cr_2O_3} + 1.90x_{V_2O_5}x_{Cr_2O_3} + 1.86x_{SO_3}x_{Cr_2O_3} + 1.82x_{P_2O_5}x_{Cr_2O_3} + 1.82x_{MnO}x_{Cr_2O_3} + 1.73x_{K_2O}x_{Cr_2O_3} + 1.72x_{Na_2O}x_{Cr_2O_3} + 1.72x_{Al_2O_3}x_{Cr_2O_3} + 1.72x_{Fe_2O_3}x_{Cr_2O_3} + 1.71x_{B_2O_3}x_{Cr_2O_3} + 1.70x_{MgO}x_{Cr_2O_3} + 1.70x_{SiO_2}x_{Cr_2O_3} + 1.68x_{TiO_2}x_{Cr_2O_3} + 1.68x_{Cr_2O_3} + 1.23x_{CaO}x_{Cr_2O_3} + 26.94) \cdot 10^{-1} \quad (6)$$

4) Регрессионная модель зависимости теплопроводности от параметров микроструктуры и их парных сочетаний, отражающая первичную значимость снижения пористости и толщины межпоровых перегородок на повышение данного параметра:

$$\lambda(z_{k,i}, z_{k,j}) = (-2.47Pd - 2.14d - 1.94P - 1.67dn_p - 1.42dn_{kv} + 1.40n_{kr}n_n - 1.36Pn_p - 1.27Pn_{kv} - 1.26n_{kr}n_v + 1.18An_{kr} + 1.16A - 1.08n_en_v + 1.03An_n + 1.01n_{kr} + 0.99n_pn_{kr} + 88.14) \cdot 10^{-3} \quad (7)$$



где P – пористость, d – толщина межпоровой перегородки, n_p – количество пироксена, n_{kv} – количество кварца, n_{kr} – количество кристобалита, n_n – количество нефелина, n_v – количество волластонита, n_e – количество эсколаита.

Ниже дополнительно представлены некоторые примеры моделей, вызвавших особый интерес авторов и требующие дополнительного анализа.

1) Регрессионная модель зависимости пористости от доли определенного химического соединения в исходной шихте:

$$P(x_{k,i}) = 2.62x_{BaO} - 2.24x_{Cr_2O_3} - 2.02x_{ZrO_2} + 1.67x_{B_2O_3} - 1.59x_{TiO_2} - 1.07x_{P_2O_5} - 0.98x_{MgO} - 0.90x_{Al_2O_3} - 0.82x_{Fe_2O_3} + 0.68x_{Na_2O} + 0.64x_{CaO} + 0.40x_{SO_3} + 0.28x_{K_2O} - 0.18x_{V_2O_5} + 0.09x_{SiO_2} - 0.04x_{MnO} + 70.19 \quad (8)$$

2) Регрессионная модель зависимости количества кварца от доли определенного химического соединения в исходной шихте:

$$n_{kv}(x_{k,i}) = (5.01x_{MgO} + 3.06x_{ZrO_2} + 3.04x_{MnO} - 2.98x_{CaO} + 2.61x_{BaO} + 2.56x_{Na_2O} + 2.32x_{SiO_2} + 1.95x_{K_2O} - 1.92x_{Cr_2O_3} + 1.54x_{Al_2O_3} + 1.48x_{Fe_2O_3} - 0.74x_{SO_3} + 0.68x_{TiO_2} - 0.62x_{V_2O_5} - 0.49x_{B_2O_3} - 0.30x_{P_2O_5} + 75.24) \cdot 10^{-1} \quad (9)$$

3) Регрессионная модель зависимости теплопроводности от отдельных параметров микроструктуры:

$$\lambda(z_{k,i}) = (0.45n_e - 0.45P + 0.44n_{kr} - 0.43d - 0.29n_v + 0.18A + 0.17K + 0.07n_p - 0.05n_{kv} + 0.03n_n + 7.95) \cdot 10^{-2} \quad (10)$$

4) Регрессионная модель зависимости плотности от отдельных параметров микроструктуры:

$$\rho(z_{k,i}) = (4.34n_e - 4.06P - 3.28n_{kv} + 2.64A + 2.16n_{kr} - 1.07n_p - 0.64n_v + 0.44n_n + 0.28d + 0.05K + 79.16) \cdot 10 \quad (11)$$

В таблице 3 представлены результаты расчета значений относительной приведенной погрешности δ . Строки соответствуют зависимым переменным, столбцы – двум различным сценариям и вариантам учета парных сочетаний факторов.

Анализ полученных результатов показал, что наибольшая погрешность моделирования соответствует регрессионным уравнениям теплопроводности. В случае учета только отдельных независимых переменных ее величина достигает 33,06 %, но снижение таковой до приемлемых в ряде случаев 19,48 % возможно за счет дополнительного учета отдельных компонентов химического состава и влияния их парных сочетаний.

Наименьшую погрешность прогнозирования иных эксплуатационных параметров показал сценарий регрессионного анализа, реализуемый в два

этапа: получение уравнений регрессии, описывающих влияние химического состава на микроструктуру образца, и уравнений регрессии, описывающих влияние микроструктуры образца на эксплуатационные свойства. Расчетная величина максимальной ошибки для 4 из 6 эксплуатационных параметров (плотность, прочность при сжатии, при растяжении перпендикулярно лицевой поверхности, при действии сосредоточенной нагрузки) при данном сценарии не превышает 1 %, что позволяет говорить о достаточной точности интерполяции в диапазонах исходных (независимых) переменных.

Таблица 3. Относительная приведенная погрешность всех разработанных регрессионных моделей

Прогнозируемый параметр	Относительная приведенная погрешность регрессионных моделей, %			
	Сценарий №1		Сценарий №2	
	Влияние отдельных независимых переменных	Влияние отдельных независимых переменных и их парных сочетаний	Влияние отдельных независимых переменных	Влияние отдельных независимых переменных и их парных сочетаний
Теплопроводность	32,47	19,48	33,06	29,52
Плотность, ρ , кг/м ³	1,26	1,05	2,39	0,02
Прочность при сжатии, МПа	9,14	9,05	5,23	0,30
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	9,67	6,22	9,11	7,00
Прочность при растяжении перп-но лиц. пов., МПа	1,38	0,63	2,82	0,42
Прочность при действии сocr. нагр.	7,95	7,44	2,33	0,01
Пористость, %			0,81	0,56
Толщина межпоровых перегородок, мм			18,61	11,11
Количественные значения кристаллических фаз, %			4,05	0,81
Количество аморфной фазы, %			1,18	0,61
Кварц SiO ₂			6,50	6,24
Пироксен (диопсид) Ca(Mg,Fe)(Si ₂ O ₆)			1,84	1,79
Кристобалит SiO ₂			2,52	1,55
Нефелин Na ₃ K(AlSiO ₄) ₄			3,81	1,28
Эсколаит Cr ₂ O ₃			4,01	3,19
Волластонит Ca(SiO ₃)			2,35	2,18

Значимым представляется возможность снижения погрешности расчета плотности и прочности при действии сосредоточенной нагрузки за счет перехода к двухэтапному моделированию по сценарию №2.



Выводы. Разработаны регрессионные модели, позволяющие определить степень влияния параметров химического состава шихты на эксплуатационные свойства пеностекла. Модели позволяют (с расчетной погрешностью до 1 %) прогнозировать значения плотности, прочности при сжатии/растяжении на основании данных о процентной доле следующих компонентов и указанных для них диапазонов варьирования: $\text{SiO}_2 \in [61,88 \div 63,13] \% \cap \text{TiO}_2 \in [0,25 \div 0,27] \% \cap \text{Al}_2\text{O}_3 \in [7,29 \div 8,17] \% \cap \text{Fe}_2\text{O}_3 \in [3,18 \div 3,56] \% \cap \text{MnO} \in [0,03 \div 0,50] \% \cap \text{MgO} \in [2,84 \div 3,19] \% \cap \text{CaO} \in [6,15 \div 8,53] \% \cap \text{Na}_2\text{O} \in [11,00 \div 11,50] \% \cap \text{K}_2\text{O} \in [1,25 \div 1,40] \% \cap \text{P}_2\text{O}_5 \in [0,03 \div 0,04] \% \cap \text{BaO} \in [0,04 \div 0,05] \% \cap \text{SO}_3 \in [0,02 \div 0,03] \% \cap \text{V}_2\text{O}_5 \in [0,00 \div 0,02] \% \cap \text{Cr}_2\text{O}_3 \in [0,00 \div 0,97] \% \cap \text{V}_2\text{O}_3 \in [1,90 \div 3,48] \% \cap \text{ZrO}_2 \in [0,00 \div 0,30] \%$. Оценка адекватности разработанных зависимостей показала непротиворечивость теоретическим положениям и известным логическим связям, описывающим термохимические преобразования системы. Анализ воспроизводимости расчета коэффициентов регрессии показал достаточную для рассматриваемой области знаний стабильность.

На основании анализа расчетных значений погрешности прогнозирования можно заключить, что гипотеза о необходимости выполнения регрессионного анализа в два этапа (получение уравнений регрессии, описывающих влияние химического состава на микроструктуру образца, и уравнений регрессии, описывающих влияние микроструктуры образца на эксплуатационные свойства) подтвердилась. Расчет плотности, прочности при сжатии/растяжении, прочности при действии сосредоточенной нагрузки наиболее эффективно выполнять на основании данных о сочетаниях параметров микроструктуры образца, рассчитанных по данным о химическом составе шихты.

Вместе с тем, на первом этапе расчет толщины межпоровых перегородок, объема кристаллической и аморфной фазы, количества кристобаллита, нефелина, эсколаита также рекомендуется выполнять, учитывая влияние как отдельных компонентов, так и их парных сочетаний.

Расчет теплопроводности рекомендуется выполнять на основании данных о химическом составе шихты, учитывая влияние как отдельных компонентов, так и их парных сочетаний. Уровень погрешности прогнозирования теплопроводности в таком случае составляет порядка 20 %, что представляется достаточным для получения предварительных оценок, однако требует увеличения обучающей выборки.

На основании обобщенного анализа ранжирования коэффициентов регрессионных моделей установлено следующее:

1. Ключевое влияние на эксплуатационные параметры пеностекла оказывает Cr_2O_3 . Эсколаит, который образуется в микроструктуре материала,

оказывает влияние на теплопроводность, плотность и, как следствие, на прочность.

2. Повышение содержания в шихте MgO в различных сочетаниях с иными компонентами влияет на увеличение кварца, что напрямую определяет показатели прочности материала.

3. Увеличение содержания в шихте BaO, особенно в сочетании с CaO, приводит к снижению теплопроводности, плотности, прочности на растяжение при изгибе, прочности при растяжении перпендикулярно лицевой поверхности, прочности при действии сосредоточенной нагрузки. Установленный эффект объясняется влиянием BaO на формирование пористой структуры материала – при увеличении его содержания значения пористости будут возрастать, причем его влияние даже выше, чем у Cr_2O_3 .

4. Компонентом, который в большей степени влияет на прочность материала при сжатии, является CaO. Указанный эффект проявляется в сочетании CaO со всеми иными компонентами шихты, что обуславливает возможность компенсации негативного влияния Cr_2O_3 на прочностные показатели материала. Повышение содержания в шихте CaO увеличивает содержание в материале кристаллической фазы и снижает содержание аморфной, что показывает преобладающее влияние CaO на внутреннее строение материала.

Таким образом, разработанные регрессионные модели позволяют использовать имеющиеся экспериментальные данные как при проверке, так и для выявления неочевидных зависимостей, а также оценки влияния взаимодействий факторов на эксплуатационные свойства пеностекла.

Библиографический список

1. Sejdinović B. Modern Thermal Insulation and Sound Insulation Materials // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. V. 539. P. 218–233. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17697-5_19
2. Davraz M., Koru M., Akdağ A. E., Kılıncarslan Ş., Delikanlı Y. E., Çabuk M. An investigation of foaming additives and usage rates in the production of ultra-light foam glass // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. Vol. 147, P. 3567–3576. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10781-8>
3. Bashiri A., Amirhosseini A., Mirkazemi S. M., Ghanbari H. Effect of Temperature and Water Glass Addition on the Microstructure and Physical Properties of Soda–Lime Foam Glass // Glass Physics and Chemistry. 2021. Vol. 47, P. 83–90. <https://doi.org/10.1134/S1087659621020024>
4. Semukhin B.S., Votinov A.V., Kazmina O.V. Properties of Foamglass with Fullerene-like Mesostructure // Russian Physics Journal. 2020. T. 63. № 4. P. 710–712.
5. Латынцева Е. А., Подойникова Я. Р., Безрукова Т. А., Муртазина А. А. Влияние сырья на свойства пеностекла и перспективы развития // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 1. С. 44–48.
6. Сорокин Д. С., Береговой В. А., Капустин А. Е. Пористые гранулированные материалы на основе природ-



- ных силицитов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2(53). С. 44.
7. Zhimalov A.A., Nikishonkova O.A., Spiridonov Y.A. et al. Physical-Chemical Studies of Gaizes as Alternative Raw Materials for the Production of Foam Glass and Foam Materials // *Glass and Ceramics*. 2019. 75. P. 387–390. <https://doi.org/10.1007/s10717-019-00091-9>
8. Liu H., Tang M., Wang Z., Liu W., Ma Y., Wang X. Optimized mechanical properties and thermal insulation capacity of foam glass through K2Ti6O13 whiskers addition. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2022. 58. P. 1241–1248. <https://doi.org/10.1007/s41779-022-00761-y>
9. Vedyakov I., Vaskalov V., Maliavski N., Nezhikov A., Vedyakov M. Granular Foam-Glass-Ceramic Thermal Insulation Based on Natural Quartz Sand // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023. V. 282. P. 395–405. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-2_37
10. Федосов С. В., Баканов М. О. Теоретические и прикладные основы процессов высокотемпературной термической обработки при производстве теплоизоляционного пеностекла // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы VII-ой Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2020. С. 40-43.
11. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М.: ГУП ЦППБ 2000. – 27 с.
12. ГОСТ EN 1602-2011 Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения кажущейся плотности. – М.: Стандартинформ, 2012. – 8 с.
13. ГОСТ 33949-2016 Изделия из пеностекла теплоизоляционные для зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
14. ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 40 с.
15. ГОСТ EN 1607-2011 Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения прочности при растяжении перпендикулярно к лицевым поверхностям. – М.: Стандартинформ, 2012. – 11 с.
16. ГОСТ EN 12430-2011 Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения прочности при действии сосредоточенной нагрузки. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
17. Fedosov S.V., Bakanov M.O. Modelling of Temperature Field Distribution of the Foam Glass Batch in Terms of Thermal Treatment of Foam Glass // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13, No. 3. P. 112-118.
18. Федосов С. В., Баканов М. О., Домнина К. Л. Математическое моделирование технологических процессов получения теплоизоляционных ячеистых композитов // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2020. № 3(55). С. 207-213.
19. Fransson E., Eriksson F., Erhart P. Efficient construction of linear models in materials modeling and applications to force constant expansions. *npj Comput Mater*. 2020. V. 6. P. 135. <https://doi.org/10.1038/s41524-020-00404-5>
20. Chore H. S., Shelke, N. L. Prediction of compressive strength of concrete using multiple regression model. *Structural Engineering and Mechanics*, 2013. V. 45(6). P. 837–851. <https://doi.org/10.12989/SEM.2013.45.6.837>
21. Obianyo I.I., Anosike-Francis E.N., Ihekwe G.O., Geng Y., Jin R., Onwualu A.P., Soboyejo A.B.O. Multivariate regression models for predicting the compressive strength of bone ash stabilized lateritic soil for sustainable building. *Construction and Building Materials*. 2020. V. 263, P. 120677. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120677>
22. Jin R., Chen Q., Soboyejo A.B.O. Non-linear and mixed regression models in predicting sustainable concrete strength // *Construction and Building Materials*. 2018. V. 170. P. 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.063>
23. Матвеев М.А., Матвеев Г.М., Френкель Б.Н. Расчеты по химии и технологии стекла. Справочное пособие // М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 240 с.
24. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*. 2011. V. 12. P. 2825-2830.
25. Конон М. Ю., Полякова И. Г., Саратовский А. С., Данилович Д. П., Анфимова И. Н. Crystallization of sodium borosilicate glass with the addition of Cr2O3 // *Glass Physics and Chemistry*. 2023. T. 49, № 2. С. 204–208. <https://doi.org/10.31857/S0132665122600881>
26. ГОСТ 6613-86 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. – М.: Стандартинформ, 2006. – 12 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



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_3_131

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА

© Авторы 2023

SPIN: 1840-8194

AuthorID: 105900

Scopus ID: 7005670404

ORCID:0000-0001-6117-7529

SPIN: 2198-1230

AuthorID: 670934

ScopusID: 56763729700

SPIN: 3084-4275

AuthorID: 648928

Scopus ID: 57190020354

ORCID: 0000-0003-3451-2031

SPIN-код: 8065-6330

AuthorID: 835870

Scopus ID: 57193557894

ORCID: 0000-0003-4046-2130

ФЕДОСОВ Сергей Викторович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

(Россия, Москва e-mail: fedosovsv@mgsu.ru)

ФЕДОСЕЕВ Вадим Николаевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство»

Ивановский государственный политехнический университет

(Россия, Иваново, e-mail: 4932421318@mail.ru)

ЗАЙЦЕВА Ирина Александровна

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация производства и городское хозяйство»

Ивановский государственный политехнический университет

(Россия, Иваново, e-mail: 75zss@rambler.ru)

ВОРОНОВ Владимир Андреевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация производства и городское хозяйство»

Ивановский государственный политехнический университет

(Россия, Иваново, e-mail: amenamiii@gmail.com)

Аннотация. В настоящее время одним из важнейших процессов в экономической системе является переход на цифровую систему практически во всех сферах деятельности и отраслях, в том числе и в строительстве. Модернизация строительной отрасли требует совершенно иного подхода к определению концептуальных научно-практических положений организации строительства. В статье представлены результаты исследований отечественного и зарубежного опыта, которые подтверждают высокий научный потенциал для совершенствования теоретических и практических знаний в области управления жизненным циклом объектов строительства. В статье представлена концепция «7И» направлений развития и модернизации строительной отрасли в условиях цифровой экономики, сформулированы приоритетные стратегические цели, которые обозначены в виде звезды эффективности и качества управления жизненным циклом объектов строительства, обосновано триединое содержание жизненного цикла объекта строительства как актива, бизнеса, проекта. На основе выдвинутых ключевых концептуальных положений сформулирована точка зрения на управление жизненным циклом устойчивого состояния объектов строительства с позиций повышения энергоэффективности и экологической безопасности жизнедеятельности человека в целях обеспечения устойчивого развития. Применение технологий информационного моделирования, анализ научных исследований в управлении жизненным циклом строительных объектов востребованы необходимостью разработки фундаментальной методологии, которая позволит обобщить ранее выдвинутые и новые концепции, выявить альтернативные подходы к созданию и модернизация инновационных технологий в строительной отрасли.

Ключевые слова: жизненный цикл; объект строительства; информационное моделирование; концепция; организация строительства; инженерия; экология

Для цитирования: Управление жизненным циклом устойчивого состояния объекта строительства / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, И.А. Зайцева, В.А. Воронов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 131-137. doi:10.51608/26867818_2023_3_131.



Original article

MANAGEMENT OF THE LIFE CYCLE OF A CONSTRUCTION FACILITY STEADY STATE

© 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)

Abstract. The current economic transformation involves the transition to a digital platform across almost all areas of activity and sectors, including construction. Modernization of the construction industry requires a completely different approach to the definition of conceptual scientific and practical provisions of the construction organization. The article presents the results of research conducted in domestic and foreign experience, which confirm the high scientific potential for improving theoretical and practical knowledge in the field of life cycle management of construction objects. The article presents the concept of "7I" directions of development and modernization of the construction industry in the digital economy. It also talks about the priority of strategic goals, which are identified as a star of efficiency and quality of management of the life cycle of construction objects. The article substantiates triune content of the life cycle of the construction object as an asset, business, project. Based on the proposed key conceptual provisions, the article formulates an opinion on the life cycle management of steady-state construction facilities from the perspective of increasing energy efficiency and environmental safety of human activities in order to ensure sustainable development. Application of information modeling technologies, analysis of scientific researches in the management of life cycle of construction objects are needed to develop a fundamental methodology that will generalize previously advanced and new concepts, find alternative ways to create and modernize of innovative technologies in the construction industry.

Keywords: life cycle; construction object; information modeling; conception; organization of production; engineering; ecology

For citation: Management of the life cycle of a construction facility steady state / S.V. Fedosov, V.N. Fedoseev, I.A. Zayceva, V.A. Voronov // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 131-137. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_131.

Введение. За последние два десятилетия индустриальная экономика России претерпела трансформационные изменения каждые 3-5 лет. Многообразие типов развития современного индустриального общества активно расширяется за счет вхождения в оборот новых понятий: креативная экономика, зеленая экономика, циркулярная экономика – экономика огня и возобновляемых источников энергии, перспективная водородная экономика и др. [1]

Цифровизация в строительной отрасли обеспечивает качественный переход к новым подходам к проектированию, строительству и эксплуатации объектов строительства. Новые подходы в процессе со-

здания и эксплуатации зданий обеспечивают безопасность и благоприятные условия для жизни человека, снижают негативное воздействие на окружающую среду. Снижение потребления природных ресурсов и негативного воздействия на окружающую среду является приоритетным направлением научных исследований для настоящего и будущих поколений [2].

Формирование новых требований к управлению жизненным циклом объектов строительства (ЖЦОС) основано на соблюдении принципа устойчивого развития общества, заключающегося в строительстве жилых, административных и производ-



ственных объектов, целью которых является обеспечение комфортности и безопасности населения жизни человека [3-4].

Достижение заявленного результата в концепции, которую в 2008 г. в своем докладе на V Красноярском экономическом форуме Д. Медведев определил в качестве основных направлений развития социально-экономической системы в рамках концепции «4И: институты, инфраструктура, инновации и инвестиции», а также задачи, которые необходимо решить по каждому из четырех направлений. Сегодня эту концепцию с учетом текущих реалий и планируемых перспектив развития современного промышленного производства можно дополнить и представить как «7И: институты, инфраструктура, инвестиции, инновации, информация, искусственный интеллект, личность».

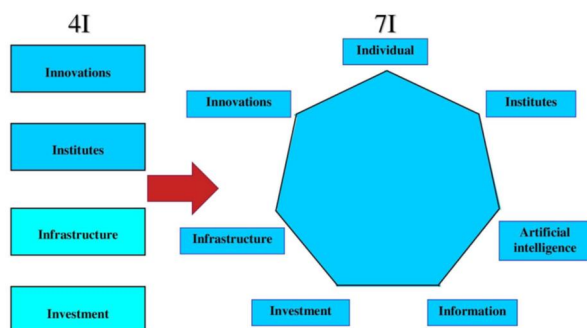


Рис.1. Концептуальные направления развития и модернизации строительной отрасли в условиях цифровой экономики

Методология. Методология исследования включает три основных этапа:

1. Анализ современных подходов к организации жизненного цикла строительных объектов [1-9].
2. Изучение особенностей управления жизненным циклом объектов строительства в Российской Федерации [10-12; 14].
3. Синтез избранных материалов исследования и формирование инновационной концепции управления жизненным циклом строительных объектов в условиях Российской Федерации.

Применение концептуального подхода к исследованию процессов трансформации строительной отрасли в условиях цифровизации позволило предварительно сформулировать ряд ключевых научных положений при разработке концепции изучения управления жизненным циклом строительного объекта, которые определяют генеральную направленность, архитектуру и преемственность научных исследований [5].

Появлению научных идей в формировании и развитии концептуальных положений управления ЖЦОС предшествовало несколько принципиальных событий, хронология и эволюция которых раскрыва-

ется посредством использования исторического метода изучения зарубежного и отечественного опыта. Основное направление развития научных исследований в области управления жизненным циклом объектов строительства подтверждается статистическим анализом результатов публикационной деятельности РИНЦ за последние 20 лет.

В условиях цифровой экономики модернизация строительной отрасли требует совершенно иного ментального подхода к поиску оптимальных и эффективных средств и критериев функционирования системы управления жизненным циклом [6-8], но и, в первую очередь, определение квалифицирующих признаков научного категориального аппарата таких понятий, как:

- Объект строительства;
- жизненный цикл объекта строительства ;
- этапы LCCO;
- ЛКМКО;
- Этапы LCMCO.

Результаты. Результаты проведенных исследований подтверждают высокий научный потенциал для совершенствования теоретических и практических знаний в области управления жизненным циклом. Анализ национальной библиографической базы данных научной цитируемости научных публикаций российских ученых (РИНЦ компании «Научная электронная библиотека» (ELIBRARY.ru) в расширенном поиске по запросу «жизненный цикл» (без указания объекта) в названии публикации, с видом публикации: статьи в журналах, книги, материалы конференций, без учета морфологии показали наличие 10499 статей, в том числе 613 диссертационных исследований, 100 патентов за период с 2000 по 2022 г. (положение на 05.11.2022 г.). По более конкретному запросу «ЖЦОС» количество публикаций и патентов представлено в таблице 1.

Таблица 1. Тенденции развития научных исследований в области управления жизненным циклом по данным библиотеки (РИНЦ) с 2000 по 2022 г. (количество научных публикаций)

Ключевые слова	Общий	Диссертации	Патенты
Управление жизненным циклом	10171	925	99
Жизненный цикл объекта строительства	8323	626	8
Строительный объект жизненный цикл управление	2343	165	3
Информационное моделирование объектов строительства	8467	880	6

За последние 20 лет возрос интерес к исследованиям в области управления жизненным циклом, пик научной и публикационной активности прихо-



дится на публикации, связанные с технологиями информационного моделирования объектов строительства. Наряду с научными статьями увеличивается количество диссертаций. Но количество зарегистрированных патентов, в которых представлены результаты применения BIM-технологий, невелико.

Исследование этапов жизненного цикла строительства берет свое начало в Королевском институте британских архитекторов (RIBA), где в 1963 году было проведено тщательное исследование. На основе этого исторического рассмотрения был издан документ «План работ», в котором прописано пошаговое действие создания объекта строительства (рис. 2).

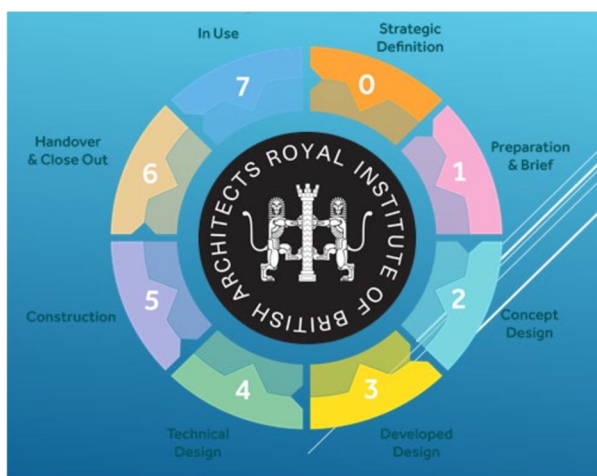


Рис.2. Этапы жизненного цикла объекта строительства «Плана работ» RIBA [16]

Этот план по сути является руководством по определению очередности выполнения задач в рамках создания строительной площадки – включая проектирование, строительство и эксплуатацию. «Рабочий план» на сегодняшний день претерпел немало изменений, и его текущая версия датирована 2013 годом. «Рабочий план» зарекомендовал себя как эффективный инструмент не только в Великобритании, но и в других странах.

Дальнейшее развитие реализованной ранее RIBA концепции - формулировать круг решаемых задач, а не писать подробные инструкции по их решению, - нашло отражение в деятельности Американского профессионального общества инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха - ASHRAE, специализирующаяся на разработке стандартов в сфере строительной деятельности. С 1959 года американская фирма занималась вопросами описания содержания жизненного цикла, связанными с определенным количеством этапов и их повышенной детализацией, подчеркивая неразрывную связь с рабочим поэтапным планом RIBA.

С учетом зарубежного опыта других стран, в частности, показателен опыт Сингапура, где при гос-

ударственной поддержке был создан Фонд производительности и потенциала строительства (ФСПС), что способствовало реализации реформ цифровизации в отечественной строительной отрасли. В структуре RIBA также создана организация по продвижению BIM в Великобритании — NBS (National BIM Standards), которая фактически дополняет «План работ» спецификой информационного моделирования.

В нашей стране таким учреждением вполне могла бы стать Национальная ассоциация изыскателей и проектировщиков (НОПИЗ) как связующее звено между входящими в нее СРО, их членами и государством.

В современных условиях перехода строительной отрасли России на BIM-технологии первостепенной задачей является разработка научных положений по управлению ЖК. Ее решением должно стать определение этапов информационного моделирования объекта строительства [9 - 11]. На сегодняшний день существует три подхода к составлению функционального описания стадий и стадий ЖКЦО:

1. Восемь этапов жизненного цикла здания в виде разделов РИБА «План работ» (стратегическое определение проекта, подготовительные работы и общий обзор ситуации, концептуальные решения, проектные решения, рабочая документация, строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатация).

2. Одиннадцать этапов ЖКЦО в видении Минстроя РФ (техническое задание, эскизный проект, проект, анализ, рабочая документация, производство, логистика, монтаж, эксплуатация, ремонт, демонтаж) (рис. 3).

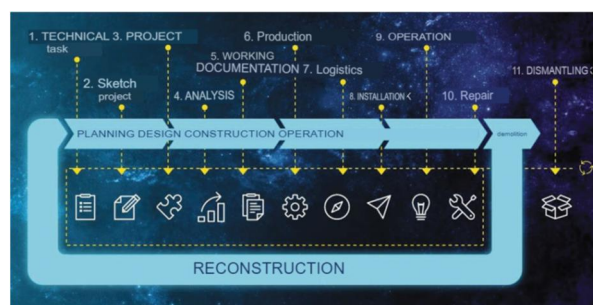


Рис.3. Этапы жизненного цикла объекта строительства в видении Минстроя РФ

3. Девятнадцать стадий и стадий ЖКЦО как инвестиционно-строительного проекта (рис. 4).

Как правило, определения ЖКЦО сводятся к перечислению его стадий, которые в действительности не являются последовательно выполняемыми стадиями. Очень часто отдельные этапы протекают практически одновременно, и работа с объектом может продолжаться даже после его ликвидации.

В «Техническом регламенте по безопасности зданий и сооружений» указано, что строительным



циклом является «период, в течение которого проводятся инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения».

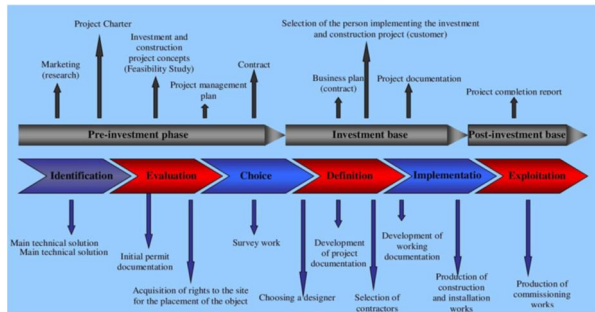


Рис.4. Этапы жизненного цикла объекта строительства как инвестиционно-строительного проекта

Для описания жизненного цикла здания при работе с BIM-технологией обычно используется определение из СП 333.1325800.2020: «Совокупность этапов, начиная с момента возникновения потребности в такой системе и заканчивая полным завершением работ с этим.» Поэтому представляется более целесообразным для строительных проектов, особенно для целей информационного моделирования, использовать более универсальное определение жизненного цикла.

Авторское видение понятия Жизненный цикл объектов строительства – это «период, в течение которого осуществляется совокупность стадий развития объектов строительства (ОС), охватывающих различные его устойчивые состояния для жизнедеятельности человека и жизнеобеспечения, начиная с момента возникновения потребность в нем возникает и заканчивается полным завершением работы с ним [12-13].

В системотехнике (ГОСТ Р 57193-2016) дается точное определение жизненного цикла как развития объектной системы от зарождения идеи до ее воплощения. Как правило, в основаниях системного подхода к технике выделяют следующие основные принципы, которые являются основой формирования жизненного цикла:

1. В рамках жизни объекта осуществляется его развитие, изменение, в том числе изменение приоритета инвестирования.
2. На каждом этапе жизненного цикла объекта строительства должны быть реализованы соответствующие инженерные системы жизнеобеспечения. Только при таком подходе удастся реализовать желаемый результат.
3. Технологичность, удобство использования и пригодность к обслуживанию, а также утилизация отходов должны быть предусмотрены и практически реализованы на конкретных стадиях жизненного цикла.

4. Осуществлять переход на следующий этап жизненного цикла объекта строительства необходимо только при достижении всех целей текущего этапа.

Таким образом, концептуальные основы научного изучения ЖЦОС предполагают реализацию следующих приоритетных стратегических целей, которые можно представить в виде звезды эффективности и качества модели ЖЦОС (рис. 5):

- снижение себестоимости на всех этапах стоимости жизненного цикла;
- снижение стоимости ресурсов на всех стадиях жизненного цикла;
- сокращение сроков реализации отдельных стадий стоимости жизненного цикла;
- снижение вредных выбросов и повышение безопасности строительных площадок;
- повышение комфортности состояния объектов строительства.

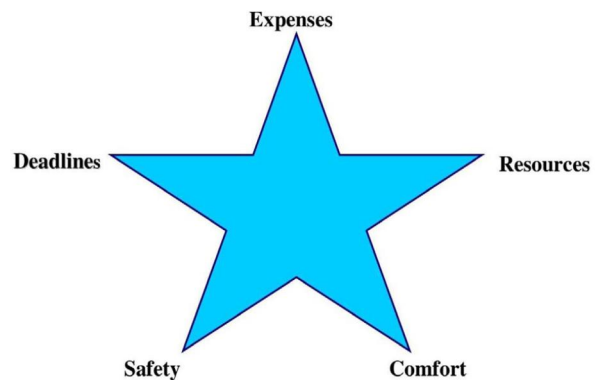


Рис.5. Звезда эффективности и качества управления жизненным циклом объекта строительства

Говоря об управлении строительными объектами на всех стадиях жизненного цикла, необходимо определиться, о каком конкретно объекте идет речь. Есть три тесно взаимосвязанных понятия и все они также связаны с понятием жизненного цикла: Проект-Актив-Бизнес. Каждый из них имеет свой жизненный цикл и экономические показатели, и требования к ним могут совершенно не совпадать на всех этапах жизненного цикла.

В связи с этим LCMCO можно представить в виде треугольника (рис. 6).

Триединое содержание концепции жизненного цикла заключается в следующем. Во-первых, управлять ЖЦОС можно как в виде проекта, актива, так и бизнеса. Во-вторых, жизненный цикл проекта для разных его участников (исполнителя и проекта Заказчика) не одно и то же. При этом один участник (Заказчик), выполнив свой проект, может получить как Актив - такое имущество, которое приносит прибыль и доход, так и Обязательство - любое имущество, приносящее только расходы.

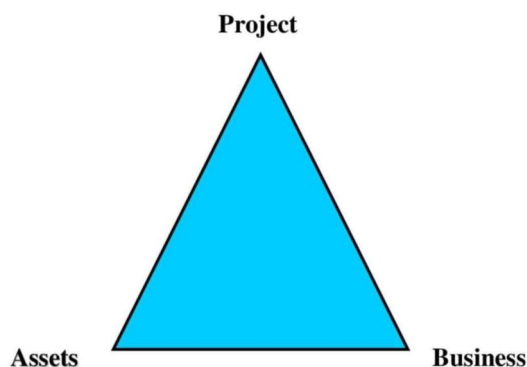


Рис.6. Треугольник идентификации модели управления жизненным циклом объекта.

Управление жизненным циклом здания или сооружения как деятельность, под которой понимается практика обеспечения связанности всех стадий существования объекта строительства, как в прямом направлении (например, передача рабочей документации в стадию строительства) и в обратном направлении (например, с учетом данных о надежности уже действующих аналогичных систем на этапе проектирования новых или перепроектирования существующих - реинжиниринга) очень сложно выделить из поэтапного течения [14-15].

Очевидно одно, что переходы из одной стадии жизненного цикла проекта не следует путать с переходами между стадиями жизненного цикла самого объекта, как актива, так и бизнеса. Все этапы жизненного цикла, как многочисленные проекты, так и сам объект строительства, связаны в единый информационный поток информационной моделью, которая является основой управления жизненным циклом с использованием BIM-технологий и сводится к необходимости освоения многократного редизайна управление информацией и управление конфигурацией [16].

Выводы. Решением данной проблемы должно стать создание единого цифрового пространства управления информацией на всех этапах ЖЦОС на основе интеграции уже существующих информационных технологий и государственно-регулируемых информационных систем с использованием искусственного интеллекта, что позволит увязать интересы всех участников и институтов системы управления на всех этапах ЖЦОС. И это уже связано с рядом других производных понятий: информационная модель ЖЦОС, система управления информационной моделью (IMMS) ЖЦОС, проектирование жизненного цикла самой информационной модели.

Интеграция информационных технологий и государственных регулируемых информационных систем позволит создать единое цифровое пространство для управления информацией на всех этапах ЖЦОС.

Библиографический список

1. Йи Чжан, Фэн Вэй, «Харизматическое лидерство МСП, жизненный цикл продукции, экологические и финансовые показатели: модель опосредованной модерации», *Journal of Cleaner Production* 306 (2021).
2. Малте Геблер, Хуан Фелипе Сердас, Себастьян Тиеде, Кристоф Херрманн, «Оценка жизненного цикла автомобильного завода: выявление проблем, связанных с обезуглероживанием автомобильного производства — тематическое исследование», *Journal of Cleaner Production* 270 (2020).
3. Антал Дер, Леннарт Хингст, Александр Карл, Питер Нижуис, Кристоф Херрманн, «Оценка жизненного цикла завода посредством комплексного анализа элементов завода», *Procedia CIRP* 98, 418-423 (2021).
4. Александр Лейден, Петер-Йохен Бранд, Фелипе Сердас, Себастьян Тиеде, Кристоф Херрманн, «Перенос проектирования жизненного цикла на проектирование поверхностей», *Procedia CIRP* 90, 557-562 (2020).
5. Жюльен Альбертини, Ксавье Файриз, Энтони Террио, «Здоровье, богатство и неформальность в течение жизненного цикла», *Журнал экономической динамики и контроля* 129 (2021).
6. Д. Кайриес-Альваро, К. Муньос-Сангинетти, А. Мартинес-Рокамора, «Вклад стандартов энергоэффективности в сокращение углеродного следа в течение жизненного цикла общественных зданий в Чили», *Energy and Buildings* 236 (2021).
7. Д. Сатола, А. Б. Кристиансен, А. Хулихан - Вибег, А. Густавсен, Т. Ма, Р. З. Ван, «Сравнительная оценка жизненного цикла различных конструкций энергоэффективных жилых домов на основе контейнеров в Китае: тематическое исследование», *Building and Environment* 186 (2020).
8. Чиен -Мин Хуанг, Хосе А. Ромеро, Майкл Остерман, Диганта Дас, Майкл Пехт, «Тенденции жизненного цикла электронных материалов, процессов и компонентов», *Надежность микроэлектроники* 99, 262-276 (2019).
9. Yan- ZheWang, ShengZhou, Xun -MinOu, «Разработка и применение модели анализа энергопотребления и выбросов CO₂ в течение жизненного цикла для высокоскоростного железнодорожного транспорта в Китае», *Advances in Climate Change Research* 12(2), 270- 280 (2021).
10. Табунщиков И.А., Колубков А.Н., Бродач М.М., Авакян И.С., «Расчет скорости воздушного потока, холодопроизводительности в коммерческих кухнях», *ASHRAE Journal* 62(9), 48-50 (2020).
11. Табунщиков Ю., Бродач М., Шилкин Н., «Зеленые здания – стратегия устойчивого развития», *E3S Web of Conferences* (2020).
12. Табунщиков, Ю.А., Бродач, М.М., «Проблемы оптимизации математического моделирования здания как единой теплоэнергетической системы», *Международный журнал вычислительного строительства и строительства*, 16(1), 156-161(2020).
13. Федосов С., Федосеев В., Логинова С., Воронов В., «Энергоэффективное состояние микроклимата помещений с комбинированной системой воздухообмена с тепловым насосом и встроенной санитарно-гигиенической системой», *Smart Innovation, Системы и технологии* 272, 555-561 (2022).



14. Лapidус А., Федосеев В., Соколов А., Острякова Ю., Воронов В., «Организационно-технологические аспекты проектирования и строительства систем теплоснабжения на базе тепловых насосов в малоэтажном строительстве», Сеть конференций Е3S (2021 г.).

15. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Блинов О.В., Логина С.А., «Цифровизация сетевого графика проектно-

строительных работ», Конспект лекций по строительству, ссылка отключена 231, 349–355 (2022).

16. Алани Ю., Давуд Н., Родригес С. и Давуд Х., «Поток информации о строительстве всего жизненного цикла с использованием семантических веб-технологий: пример для инфраструктурных проектов», 37-я конференция CIB W78 по информационным технологиям для строительства (CIB W78), 141- 155 (2020).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 03.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 03.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Научная статья

УДК 69.059

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения, 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_3_138

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИМЕЮЩИХ ПОВРЕЖДЕНИЯ АРМАТУРЫ ВСЛЕДСТВИЕ КОНТАКТА С ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ

© 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

Научно-исследовательский институт строительной физики

РААСН (НИИСФ РААСН);

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

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

SPIN: 7156-3920

AuthorID: 445219

ORCID 0000-0002-1180-558X

СУЛЕЙМАНОВА Людмила Александровна

доктор технических наук, профессор

Белгородский государственный технологический университет

имени Владимира Григорьевича 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 Владимира Григорьевича Шухова

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

SPIN: 6591-4603

AuthorID: 737314

ORCID 0000-0002-1732-2650

КРЮЧКОВ Андрей Александрович

кандидат технических наук, доцент

Белгородский государственный технологический университет

имени Владимира Григорьевича Шухова

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

Аннотация. В статье описана методика экспериментального исследования, основанная на проведении испытаний, поврежденных изгибаемых железобетонных элементов в зоне чистого изгиба. Была разработана методика испытания, основанная на применении ускоренного электрохимического метода повреждения элемента. В ходе исследования были определены физико-механические характеристики и построены диаграммы деформирования вспомогательных образцов бетона и арматуры, проанализированы параметры повреждения стальной арматуры растянутой зоны, такие как уменьшение поперечного сечения и деградация материала. Использовались различные методы контроля и измерений для оценки степени повреждений и определения прочностных характеристик образцов. Результаты экспериментальных исследований позволили построить диаграммы деформаций по высоте сечения элементов, деформации сжатой и растянутой зоны элементов серии по граням, опытные диаграммы момент-прогиб, выявить характер протекания коррозионных процессов, трещинообразования и разрушения элемента, что показало степень влияния хлоридной агрессивной среды на повреждения арматуры и определить параметры, которые приводят к ухудшению несущей способности и увеличению деформативности железобетонных элементов. Полученные данные являются ценными для оценки повреждений, разработки методов реконструкции и усиления железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридных агрессивных сред.

Ключевые слова: железобетонные элементы; хлоридная среда; коррозия; арматура; деградация; несущая способность; усиление; эксперимент; строительные конструкции

Для цитирования: Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, имеющих повреждения арматуры вследствие контакта с хлоридной агрессивной средой / В.И. Римшин, Л.А. Сулейманова, П.А. Амелин, А.А. Крючков // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 138-146. doi:10.51608/26867818_2023_3_138.



Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF BENT REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH REINFORCEMENT DAMAGE DUE TO CONTACT WITH AN AGGRESSIVE CHLORIDE ENVIRONMENT

© The authors 2023

RIMSHIN Vladimir Ivanovich

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

*Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture
and Building Sciences;*

National Research Moscow State University of Civil Engineering

(Russia, Moscow, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

SULEYMANOVA Lyudmila Aleksandrovna

Doctor of Technical Sciences, Professor

*Belgorod State Technological University named after Vladimir Grigoryevich Shukhov
(Russia, Belgorod)*

AMELIN Pavel Andreevich

PhD Candidate

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

KRYUCHKOV Andrey Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*Belgorod State Technological University named after Vladimir Grigoryevich Shukhov
(Russia, Belgorod, e-mail: krjuchkov@yandex.ru)*

Abstract. The article describes a method of experimental research based on testing damaged bent reinforced concrete elements in the zone of pure bending. A test procedure was developed based on the use of an accelerated electrochemical method of damage to the element. In the course of the study, the physical and mechanical characteristics were determined and deformation diagrams of auxiliary concrete and reinforcement samples were constructed, the parameters of damage to steel reinforcement of the stretched zone, such as a reduction in cross-section and degradation of the material, were analyzed. Various control and measurement methods were used to assess the degree of damage and determine the strength characteristics of the samples. The results of experimental studies made it possible to construct diagrams of deformations along the cross-section height of elements, deformations of the compressed and stretched zones of the series elements along the faces, experimental moment-deflection diagrams, to identify the nature of corrosion processes, cracking and destruction of the element, which showed the degree of influence of the chloride aggressive environment on damage to the reinforcement and to determine the parameters that lead to deterioration of the bearing capacity and to increase the deformability of reinforced concrete elements. The data obtained are valuable for damage assessment, development of methods for reconstruction and reinforcement of reinforced concrete structures exposed to chloride aggressive environment.

Keywords: reinforced concrete elements; chloride environment; corrosion; reinforcement; degradation; bearing capacity; reinforcement; experiment; building structures

For citation: Experimental studies of bent reinforced concrete elements with reinforcement damage due to contact with an aggressive chloride environment / V.I. Rimshin, L.A. Suleymanova, P.A. Amelin, A.A. Kryuchkov // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 138-146. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_138.

Введение. Эксплуатация железобетонных изгибаемых элементов различных по назначению зданий и сооружений подвержена воздействию агрессивных несиловых нагрузок, что приводит к появлению коррозионных процессов в бетоне и арматуре, и раннему достижению предельных состояний конструкций [1-3].

Особенно чувствительны к этому воздействию конструкции морских сооружений, мостов и паркингов, станций обеззараживания, резервуаров, некоторых химических предприятий, а также монолитных зданий, возведенных в зимний период и под-

вергаемых постоянно воздействию хлоридосодержащих агрессивных сред [4-6].

Теоретические и экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов при совместном действии эксплуатационных и средовых нагрузок посвящены работы Москвина В.М., Алексеева С.Н. Бондаренко В. М., Пухонто Л.М., Розенталя Н.К., Попеско А.И., Колчунова В.И., Овчинникова И.Г., Смоляго Г.А., Селяева В.П., Леоновича С.Н., Федосова С.В., Румянцевой В.Е., Степановой В.Ф., Сеткова В.Ю. и др. [1-15].



Одной из характерных особенностей взаимодействия хлоридной среды и железобетона является коррозия стальной арматуры. Критическое содержание хлорид-ионов в бетоне снижает щелочность защитного слоя вокруг арматуры, нарушая пассивное состояние стали и вызывая локальные процессы коррозии стержня. Это приводит к уменьшению фактической площади поперечного сечения арматуры [7-8]. Кроме того, продукты коррозии арматуры значительно повышают внутреннее напряжение в бетоне, что в итоге приводит к появлению трещин и отслаиванию защитного слоя [9-11]. Уменьшение поперечного сечения арматуры сокращает срок службы изгибаемого элемента, так как снижается несущая способность и увеличивается деформативность.

Накопление экспериментальных данных повреждений изгибаемых элементов позволяет разработать механизм необходимого способа усиления по длительности воздействия и степени поврежденности данных элементов. Решение данной задачи отображено в работах Клевцова В.А., Шилина А.А., Маилаяна Д.Р., Морозова В.И., Неровных А.А., Бокарева С.А., Польского П.П., Чернявского В.Л., Аксельрода А.В., Анпилова С.М., Карпенко Н.И., Травуша В.И. и др. [12-30].

С целью оценки напряженно-деформированного состояния коррозионно-поврежденных изгибаемых железобетонных элементов и разработки методики их усиления в лаборатории кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В. Г. Шухова были проведены испытания железобетонных балок – не находящихся под влиянием агрессивных сред и поврежденных в результате воздействия электрохимической хлоридной коррозии стальной арматуры.

Методология. Для достижения поставленной цели разработана программа проведения экспери-

мента, в соответствие с которой предусматривалось проведение следующих испытаний 2 серий изгибаемых элементов и вспомогательных образцов к ним, а именно:

– испытание вспомогательных бетонных образцов проектного класса по прочности на сжатие В15 в виде кубов размером 10x10x10 см и призм размером 10x10x40 см на сжатие, изгиб, определение начального модуля упругости в количестве 6 шт. на серию;

– испытание вспомогательных образцов в виде арматурных стержней В500 и А500;

– испытание контрольных образцов на статический изгиб (серия БК);

– испытание образцов на статический изгиб до момента достижения нагрузки, равной 70% от расчетной несущей способности сечения, повреждение растянутой зоны сечения под воздействием хлоридной среды с последующим разрушением элемента (серия БП).

Для проведения эксперимента были изготовлены опытные образцы железобетонных изгибаемых элементов в количестве 15 штук в лаборатории завода АО «Белгородстройдеталь» (г. Белгород). Образцы были изготовлены из тяжелого бетона класса В15. Размеры опытных образцов составили 120 x 220(н) x 1290 мм. Расчетный пролет составил 1100 мм.

Опытные образцы балок армированы плоским сварным каркасом из арматурной стали А500 $\varnothing 12$ мм в растянутой зоне и В500 $\varnothing 5$ мм в сжатой зоне. В качестве поперечной арматуры приняты стержни из арматурной стали А500 $\varnothing 6$ мм. Шаг поперечной арматуры по длине балки переменный: в крайних четвертях – 100 мм, в средних – 200 мм. Схема армирования образцов приведена на рисунке 1.

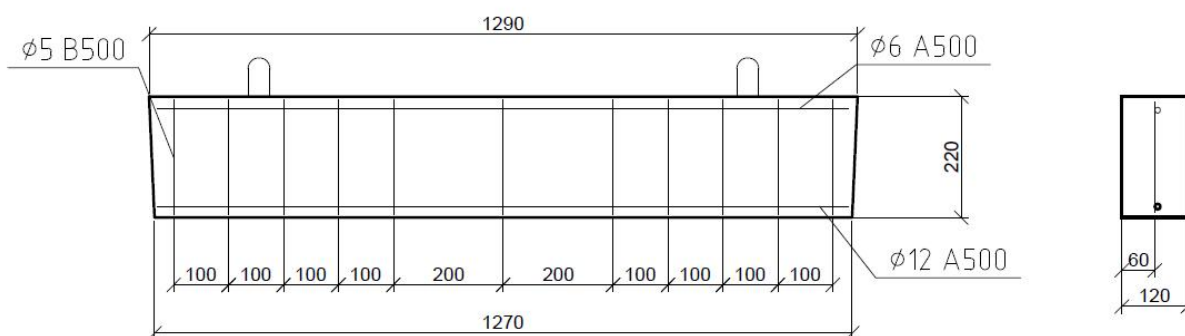


Рисунок 1. Опалубочный чертеж исследуемой опытной конструкции

Параллельно с основными образцами, автором были изготовлены и испытаны вспомогательные бетонные образцы кубической и призмной формы из бетона класса по прочности на сжатие В15, состав которого определялся по ГОСТ 27006-86. Кубы размером 100x100x100 мм в количестве 4 штук были измерены с помощью штангенциркуля, взвешены, испытаны на прочность согласно ГОСТ 10180-2012 с помощью универсальной гидравлической разрывной машины WEW-600D. Призмы размером 100x100x400 мм в количестве 6 штук испытывались для определения призмной прочности бетона на сжатие и растяжение с изгибом по ГОСТ 10180-2012, начального модуля упругости согласно ГОСТ 24452-80 (рис. 2). В результате была построена диаграмма деформирования бетона (рис. 3).

Испытание призм на растяжение с изгибом выполнялось на испытательном прессе П-50, с использованием оснастки для проведения четырехточечного изгиба. Результаты испытаний физико-механических характеристик бетона и представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики применяемого бетона

Проектный класс бетона на сжатие	Средняя кубическая прочность бетона, МПа	Средняя призмная прочность бетона, МПа	Начальный модуль упругости, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
B15	19,6	17,2	24 650	4,11

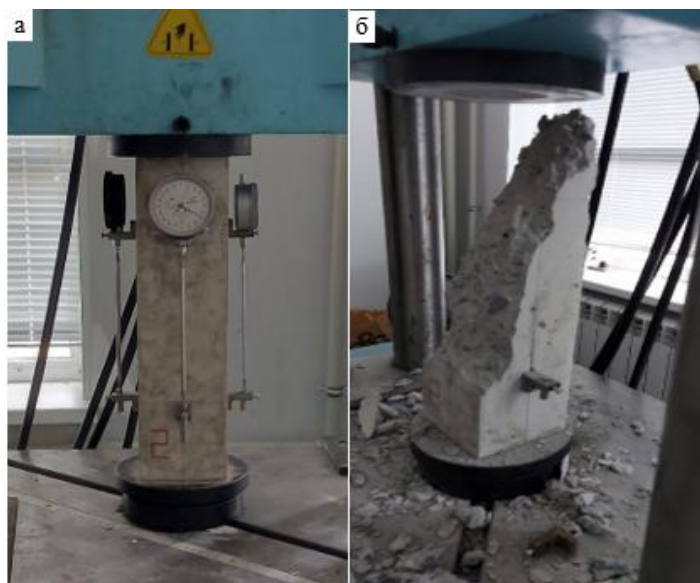


Рисунок 2. Испытание призм по прочности на сжатие и определение модуля упругости:
а – до испытания, б – после испытания

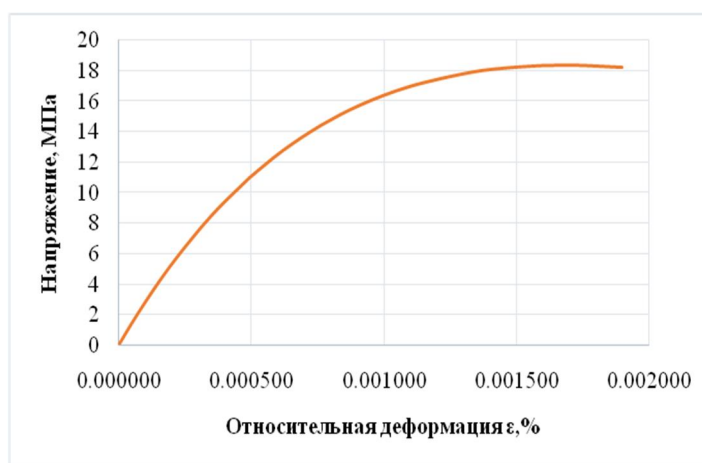


Рисунок 3. Диаграмма σ - ϵ бетона В15 при сжатии



В результате были построены диаграммы (σ - ϵ) работы для сталей А500 и В500 (рис. 4), определены такие характеристики как временное сопротивление, предел текучести, модуль упругости и относительное удлинение (табл. 2).

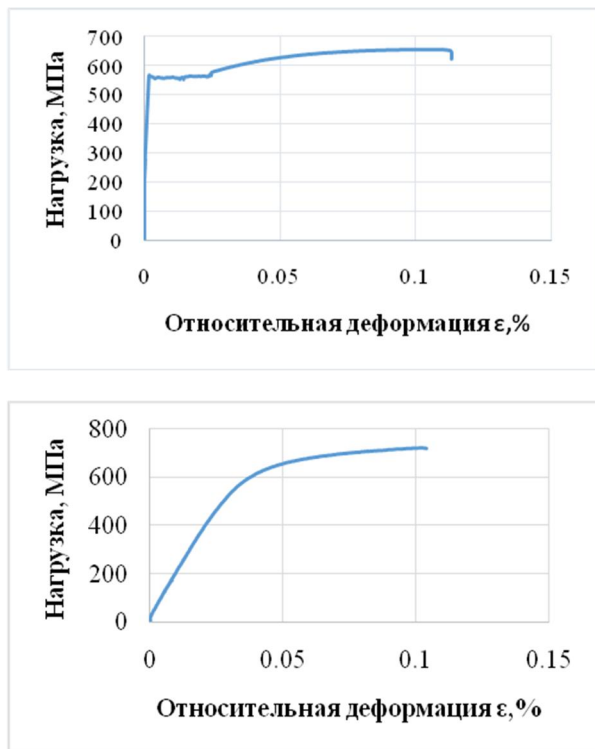


Рисунок 4. Диаграмма σ - ϵ арматуры класса А500 и В500

Таблица 2. Физико-механические характеристики арматуры

Класс арматуры	σ_{el} , МПа	σ_y , МПа	σ_u , МПа	δ_{200} , %
A500	509,62	514,34	653,93	11
B500	615,57	-	723,04	3

Испытание балок серии БП проводилось до достижения нагрузки на изгибаемый элемент в размере 70-80% от проектной разрушающей нагрузки.

Далее балка разгружалась, при этом разгрузка производилось ступенчато, по 10% от предельной разрушающей нагрузки, фиксировались величины остаточных относительных деформаций, прогибов, производился опрос тензодатчиков. Разгруженная балка перемещалась в посудину для осуществления коррозионных повреждений.

Повреждение основных изгибаемых образцов осуществлялось в 5 % растворе хлористого натрия одновременно с использованием электрического источника питания для проведения катодного процесса на протяжении трех дней при силе тока 3А. Для осуществления возможности протекания электрохимической коррозии, наружу балки из раствора была выведена арматура, являющаяся анодом. После проведения испытаний второй серии образцов, поврежденная арматура, находящаяся на приопорных участках элемента, изымалась из тела бетона для определения фактической площади сечения, физико-механических характеристик и проведения поверочных расчетов несущей способности балок перед этапом усиления.

Результаты и обсуждение. Контрольные образцы изгибаемых элементов серии БК в ходе испытания были доведены до разрушения. Разрушение в элементах произошло вследствие образования нормальных трещин с последующим выколом бетона сжатой зоны (рис. 5).



Рисунок 5. Внешний вид контрольных образцов серии БК после разрушения

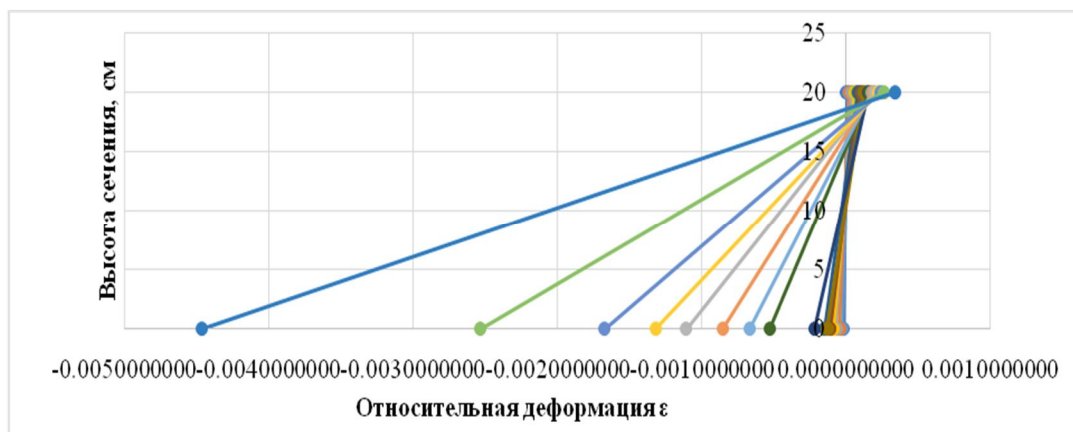


Рисунок 6. Деформации по высоте сечения элементов серии БК

Диаграммы распределения относительных деформаций по высоте поперечного сечения балок на всех этапах нагружения представлены на рис. 6.

Также были построены диаграммы относительных деформаций по сжатой и растянутой граням (рис. 7).

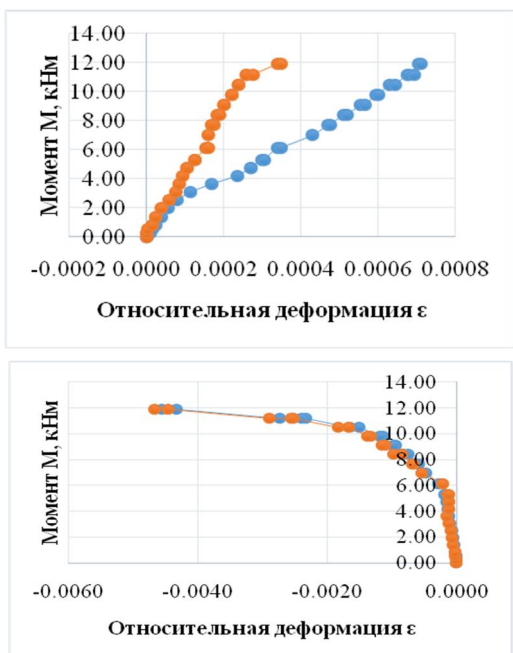


Рисунок 7. Деформации сжатой и растянутой зоны элементов серии БК по граням

Фиксация прогибов на каждом этапе нагружения позволила построить экспериментальные диаграммы растянутой зоны «M-f» (момент - прогиб), приведенные на рисунке 8. Величина максимального прогиба элемента перед разрушением – 14 мм.

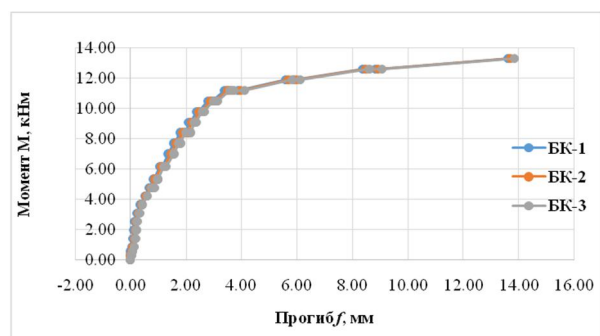


Рисунок 8. Опытные диаграммы «M-f» для образцов марки БК

Образцы изгибаемых элементов серии БП после первого этапа нагружения и прохождения электрохимической коррозии в хлоридной агрессивной среде совместно с источником питания имели характерные следы развития продуктов коррозии растянутой арматуры в бетоне. После прохождения процесса коррозии образцы были доведены до разрушения (рис. 9).

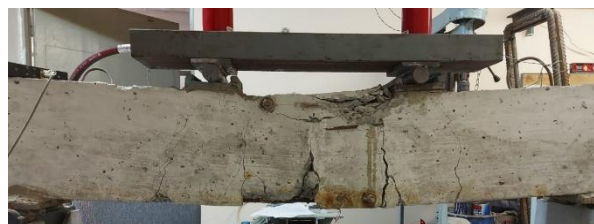


Рисунок 9. Внешний вид образца серии БП после прохождения электрохимической коррозии

Характер разрушения образцов серии был схож на контрольные, разрушение произошло результате выкола бетона сжатой зоны, однако величины разрушающего момента были меньше контрольных на 6%, а момент достижения предельного прогиба образца на 7% выше, чем у контрольных образцов БК. Так как испытание производилось в двух этапах, и при разгрузке балки после 1-го этапа образовались остаточные деформации и прогибы, представлены диаграммы распределения относительных деформаций по высоте поперечного сечения балок для двух этапов испытаний (рис. 10).

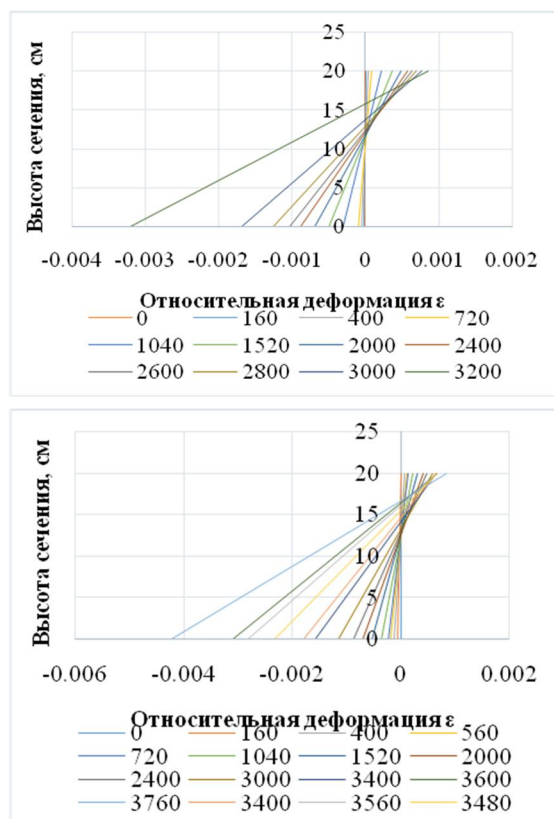


Рисунок 10. Деформации по высоте сечения элементов серии БП на первом и втором этапе нагружения

Диаграммы относительных деформаций по сжатой и растянутой граням для балок серии БП показаны на рис. 11.

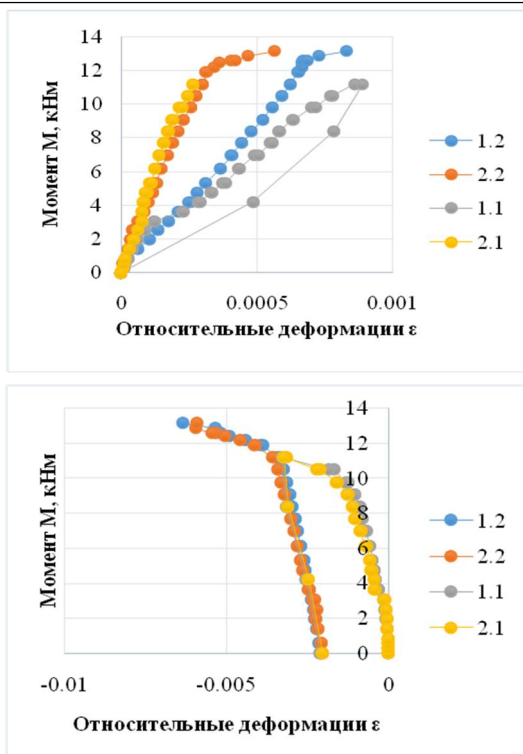


Рисунок 11. Деформации сжатой и растянутой зоны элементов серии БП по граням: 1.1 – 1 сторона 1 этап; 1.2 – 1 сторона 2 этап; 2.1 – 2 сторона 1 этап; 2.2 – 2 сторона 2 этап

Опытные диаграммы прогибов растянутой зоны «M-f» (момент - прогиб), для образцов серии БП на двух этапах нагружения приведены на рисунке 12.

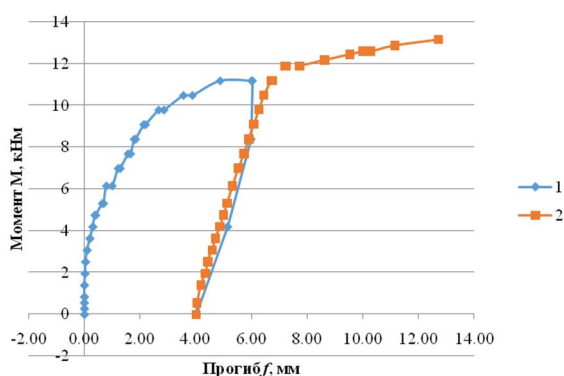


Рисунок 12. Опытные диаграммы «M-f» Для образцов марки БП:

1 – первый этап нагружения; 2 – второй этап нагружения

Величина максимального прогиба элемента перед разрушением – 12,7 мм.

Развитие повреждений в балках серии БП имеет выраженный затухающий с течением времени характер, так как выделяющиеся продукты коррозии с течением времени заполняют трещины и пустоты в бетоне, через которые хлоридная среда поступает в элемент.

Результаты испытаний в характерных точках с нагрузкой трещинообразования, достижением предельно допустимого раскрытия трещин и предельных прогибов, конечного разрушения элементы представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний элементов серии БК и БП

Марка балки	Разрушающий момент M_{ult} , кН*м	Средний разрушающий момент M_{srult} , кН*м	Средний момент трещинообразования M_{srsgs} , кН*м	Средний момент достижения предельного раскрытия трещин M_{srsgs} , кН*м	Средний момент достижения предельного прогиба M_{srfl} , кН*м
БК-1	13,8	14	5,26	7,44	10,8
БК-2	14,3				
БК-3	14				
БП-1	13,15	13,16	4,76	8,4	11,62
БП-2	13,2				
БП-3	13,11				

После испытания второго этапа стальная арматуры, расположенная в растянутой арматуре, доставалась из образца, делилась на три части по длине, замерялся диаметр, проводилось испытание на разрыв (рис. 13).

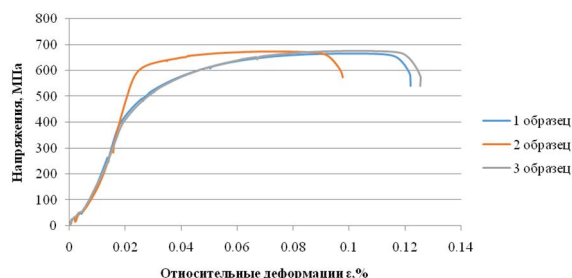


Рисунок 13. Диаграмма σ - ϵ арматуры класса А500 после испытания образцов серии БП

Как видно из диаграммы работы стали А500, образцы после испытания балки потеряли выраженную площадку текучести, особенно арматура, находящаяся в середине пролета. При этом предельная деформативность образцов практически не изменилась. Диаметр растянутой арматуры уменьшился на 0.5 мм.

Выводы. На основе экспериментальных исследований получены новые опытные данные по кинетике развития коррозионных повреждений арматуры в образцах железобетонных балок;

1. Характер разрушения образцов серии БП схож на результаты контрольных неповрежденных образцов, разрушение произошло результате выкола бетона сжатой зоны, однако величины разру-



шающего момента были меньше контрольных на 6%, а момент достижения предельного прогиба образца на 7% выше, чем у контрольных образцов БК;

2. Результаты экспериментальных исследований позволили построить диаграммы деформаций по высоте сечения элементов, деформации сжатой и растянутой зоны элементов серии по граням, опытные диаграммы момент-прогиб, выявить характер протекания коррозионных процессов, трещинообразования и разрушения элемента;

3. Развитие повреждений имеет выраженный затухающий с течением времени характер, так как выделяющиеся продукты коррозии с течением времени заполняют трещины и пустоты в бетоне, через которые хлоридная среда поступает в элемент;

4. Полученные данные являются ценными для оценки повреждений, разработки методов реконструкции и усиления железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридных агрессивных сред.

Библиографический список

1. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / Москвин В.М. [и др.]. М., 1980. 536 с.
2. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат. 1976. 205 с.
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.
4. Розенталь, Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. Хлориды в бетоне и их влияние на развитие коррозии стальной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 92-96.
5. Длительные деградационные процессы, влияющие на снижение грузоподъемности и долговечности мостовых сооружений в период их эксплуатации / А. И. Васильев, Ш. Н. Валиев, В. С. Шмидт, И. Г. Овчинников // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 2. С. 50.
6. Попеско А. И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии. СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 1996. 182 с.
7. Мигунов, В. Н. Влияние переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки и сильноагрессивной жидкой хлоридсодержащей среды на кривизну непредварительно напряжённых изгибаемых железобетонных конструкций / В. Н. Мигунов, К. В. Шамшина // Транспортные сооружения. 2018.
8. 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.
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.
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
11. Бондаренко, В. М., Римшин В. И. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях: учебное пособие. Москва: Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, 2009. 87 с.
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.
14. Римшин В. И., Меркулов С. И., Есипов С. М. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 2(35). С. 93-100. DOI 10.5281/zenodo.1286034.
15. Римшин В.И., Меркулов С.И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. т. 20. № 5. С. 92-100.
16. Римшин В. И., Кузина Е. С. Анализ расчётного метода усиления конструкций системой внешнего армирования // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 3(7). С. 70-79.
17. Маилян Д.Р, Польской П.П., Михуб Ахмад. Вопросы исследования прочности нормальных сечений балок, усиленных различными видами композитных материалов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2. С. 99.
18. Морозов В.И., Юшин, А. В. Экспериментальные исследования двухпролетных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению // Вестник гражданских инженеров. СПб: СПбГАСУ. 2014. №5 (46). С 77-84.
- 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. – EDN YUOKZK.
20. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М.А. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика – М., 2020.
21. Римшин В.И., Бикбов Р.Х., Кустикова Ю.О. Некоторые элементы усиления строительных конструкций композиционными материалами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 381-383.
22. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Теоретические основы расчета сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2009. № 2-22. С. 29-33.



23. Римшин В.И., Галубка А.И., Синютин А.В. Инженерный метод расчета усиления железобетонных плит покрытия композитной арматурой // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 3. С. 218-220.

24. Римшин В.И., Шубин Л.И., Савко А.В. (Доступ к полному тексту закрыт)

Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 483-491.

25. 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.

26. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L.

Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. Т. 33. № 1. С. 1034-1041.

27. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018. С. 032024.

28. Kuzina E., Cherkas A., Rimshin V. Technical aspects of using composite materials for strengthening constructions В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 032053.

29. Telichenko V., Rimshin V., Ereemeev V., Kurbatov V. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 02025.

30. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Т. 13. № 11. С. 3851-3856.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 03.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 03.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.



Научная статья

УДК 691.327

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_3_147

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

© Авторы 2023
SPIN: 4845-3197
AuthorID: 131097

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
Российская академия архитектуры и строительных наук;
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва (Россия, Саранск, e-mail: ntorm80@mail.ru)

SPIN: 4583-2960
AuthorID: 660234

ЛАЗАРЕВ Александр Львович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск; e-mail: aleks-laz@yandex.ru)

SPIN: 3311-0073
AuthorID: 1150738

БУСАРГИН Дмитрий Александрович
магистр 2-ого курса, профиль «Фундаментальные основы прогнозирования
и повышения надежности, долговечности строительных материалов и конструкций»
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва (Россия, Саранск; e-mail: busargin20@mail.ru)

АВЕРКИНА Маргарита Юрьевна
студентка 4-ого курса, специальность "Строительство уникальных зданий
и сооружений"
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва (Россия, Саранск; e-mail: margo_averkina@mail.ru)

Аннотация. Представлены результаты фрактального анализа экспериментальных данных исследования зависимости коэффициента интенсивности напряжений цементного бетона при растяжении от водоцементного отношения; вида наполнителя; длительности твердения; крупности зерен наполнителя и заполнителя.

Показана возможность применения закона Мандельброта-Ричардсона для описания масштабной инвариантности структурно-механических параметров цементного бетона.

Ключевые слова: бетон; фрактал; вязкость разрушения; коэффициент интенсивности напряжений; механика разрушения

Для цитирования: Фрактальный анализ экспериментальных данных по механике разрушения цементного бетона при растяжении / В.П. Селяев, А.Л. Лазарев, Д.А. Бусаргин, М.Ю. Аверкина // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 147-152. doi:10.51608/26867818_2023_3_147.

Original article

FRactal Analysis of Experimental Data on the Mechanics of Destruction of Cement Concrete Under Tension

© The Author(s) 2023

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



LAZAREV Alexander Lvovich

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: aleks-laz@yandex.ru)

BUSARGIN Dmitry Alexandrovich

master's student

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk; e-mail: busargin20@mail.ru)

AVERKINA Margarita Yurievna

student

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

Abstract. The results of a fractal analysis of experimental data on the dependence of the stress intensity coefficient of cement concrete under tension on the water-cement ratio; type of filler; duration of hardening; grain size of filler and filler are presented.

The possibility of applying the Mandelbrot-Richardson law to describe the scale invariance of structural and mechanical parameters of cement concrete is shown.

Keywords: concrete; fractal; fracture toughness; stress intensity coefficient; fracture mechanics

For citation: Kinetic analysis of the chemical resistance of filled cement composites to the action of mineral acids / V.P. Selyaev, A.L. Lazarev, D.A. Busargin, M.Yu. Averkina // Expert: theory and practice. 2023. № 3 (22). Pp. 147-152. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_3_147.

Теория разрушения в классической механике деформируемого твердого тела основана на гипотезах о сплошности, однородности (шаровой изотропии), естественном напряженном состоянии материала [1]. Разрушение рассматривается как мгновенный акт, который наступает, как только напряжения или деформации достигнут предельных значений. Однако эти гипотезы пригодны для идеально структурированных материалов, но не всегда соответствуют действительности.

Бетон, как и многие другие естественные и искусственные материалы, изначально имеет неоднородную блочно-иерархическую структуру, которая содержит множество дефектов различного уровня и генезиса: включения в матрицу зерен заполнителя, тонкодисперсных минеральных наполнителей; поры, пустоты (раковины), заполненные воздухом, и водой. В процессе его твердения формируется структура, которая не является однородной и сплошной, а отличается многофазностью, многомасштабностью, гетерогенностью, и на первый взгляд представляет собой сложную систему, не поддающуюся какому-либо анализу.

Б. Мандельброт предложил новый научный подход к анализу неоднородных сложных систем, который основан на принципах и гипотезах фрактальной геометрии, согласно которой структура бетона представляется в виде сложной фрактальной-многомасштабной системы, состоящей из множества инвариантных структурных элементов конечного размера [2-5].

Целью настоящей работы является систематизация и обобщение на основе методов фрактальной геометрии экспериментальных данных по механике разрушения цементных бетонов при растяжении.

Экспериментально установлено, что разрушение бетона – это процесс, который развивается во времени на разных масштабных уровнях и сопровождается развитием трещин. При этом траектория развития трещин может проходить по матрице, зернам заполнителя, дилатансионным оболочкам между блоками структуры [6-12].

Принято различать три типа трещин, развитие которых приводит к разделению (разрушению) твердого тела на отдельные части.

Первый тип трещин наблюдается при отрывном механизме разрушения твердого тела. Второй тип – соответствует поперечному сдвигу. Третий тип наблюдается при (продольном сдвиге) антиплоской деформации [12].

Процесс разрушения начинается с концентрации напряжения в вершине трещины и разрыва внутренних связей в устье трещины. Вследствие этого явления образуется новая поверхность разрушения, происходит увеличение длины трещины.

В качестве критерия, определяющего начало процесса образования и роста трещины, предлагается применять коэффициент интенсивности напряжения k_i ($i = 1, 2, 3$), где i обозначает (модель разрушения) механизм развития трещины.

Условие трещиностойкости предложено записывать в виде неравенства



$$k_i \leq k_{ic} \quad (1)$$

где k_{ic} - критическое (предельное) значение коэффициента интенсивности напряжений, определяемое экспериментально [11].

Характеристика трещиностойкости (вязкости разрушения материала) k_{ic} рассматривается как постоянная материала, асимптотическое значение которой не зависит от длины трещины [12]. Определение значений k_{1c} и k_{2c} рекомендуется определять по методике, изложенной в ГОСТе 29167-2021.

Результаты экспериментального определения новых силовых характеристик k_{1c} и k_{2c} изложены в работах, выполненных под руководством Н.И. Макридина, К.А. Пирадова, С.Н. Леоновича, Д.Н. Коротких, В.А. Перфилова, Ю.В. Зайцева, В.П. Селяева [6-10; 12-14]. Проведена огромная работа, получены результаты, которые нуждаются в систематизации, осмыслении, объяснении противоречий.

Проведены исследования с целью определения зависимости коэффициента интенсивности напряжений k_{1c} от: водоцементного соотношения; вида наполнителя; крупности зерен заполнителя; сроков твердения; температуры нагрева бетона [6-9; 12-14].

Экспериментальными исследованиями влияния различных факторов на силовые характеристики

цементного камня и мелкозернистого (песко-) бетона, установлено, что при различных видах песка, независимо от водоцементного соотношения; от длительности твердения между коэффициентом k_{1c} и прочностью цементного камня на растяжение при изгибе R_{bti} существует прямопропорциональная зависимость вида

$$k_{ic} = m_i R_{bti} \quad (2)$$

Подобная зависимость подтверждена экспериментальными данными Ю.В. Зайцева, К.А. Пирадова, В.А. Перфилова, С.Н. Леоновича, Н.И. Макридина, В.П. Селяева (см. рис. 1).

По данным: Ю.В. Зайцева $m = 0,13$; К.А. Пирадова - 0,2; С.Н.Леоновича - 0,375; В.А. Перфилова - 0,04; В.П. Селяева - 0,4; Н.И. Макридина - 0,098.

В результате проведенных исследований предложено [12] нормировать значения k_{1c} . В таблице 1 каждому классу бетона по прочности на сжатие (в диапазоне В10 ~ В60) даны соответствующие значения коэффициентов интенсивности напряжений k_{1c} .

Леоновичем С.Н. предложено зависимость

$k_{1c} = f(R_{bc})$ описывать линейной функцией вида

$$k_{1c} = 0,0827 + 0,01767 f_{c,cub} \quad (3)$$

Где $f_{c,cub}$ - кубиковая прочность бетон. Так, если для класса В10 принимаем $f_{c,cub} = 10$ МПа, В20- $f_{c,cub} =$

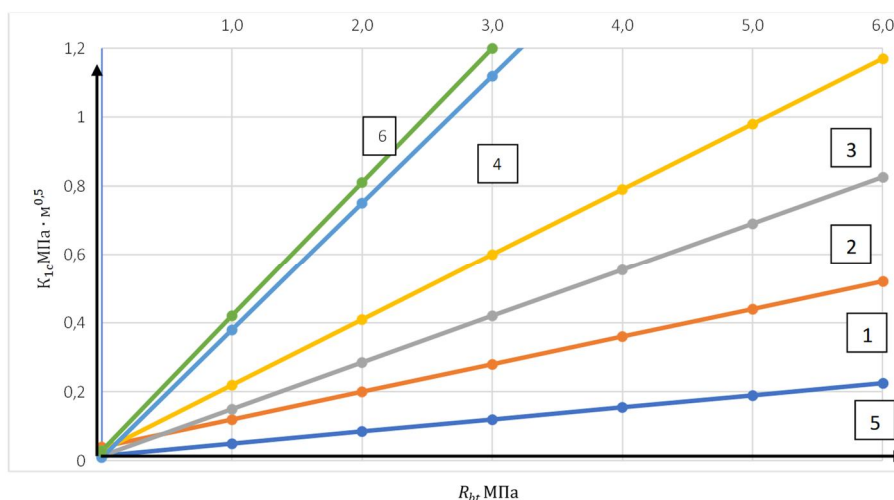


Рис. 1 Зависимость между k_{1c} и R_{bt} по экспериментальным данным Н.И. Макридина (1), Ю.В. Зайцева (2), К.А. Пирадова (3), С.Н. Леоновича (4); В.А. Перфилова (5), В.П. Селяева (6)

Таблица 1. Значения коэффициентов интенсивности напряжений для бетонов различного класса по прочности на сжатие

№ п/п	Параметры трещино-стойкости k_{ic} , МПа	Класс бетона по прочности на сжатие									
		В10	В20	В25	В30	В35	В40	В45	В50	В55	В60
1	Леонович С.Н.	0,26	0,44	0,52	0,61	0,7	0,79	0,88	0,97	1,05	1,1
2	Пирадов К.А	0,16	0,28	0,32	0,36	0,40	0,42	0,45	0,52	-	0,61
3	Селяев В.П.	0,35	0,58	0,68	0,76	0,81	0,87	0,92	0,96	0,99	1,03
4	R_{bt}	0,85	1,35	1,55	1,75	1,95	2,10	2,25	2,45	2,60	2,75
	СП 63.13330.2012										



20 МПа, $V_{c,cub} = 60$ МПа, то, подставив эти значения в формулу (3), получаем $k_{1c}(10) = 0,259$, $k_{1c}(20) = 0,436$, $k_{1c}(60) = 1,14$.

Экспериментально установлено, что значение коэффициента m зависит от объемного содержания v мелкого заполнителя и может изменяться в пределах от 0,11 при $v > 60\%$ до 0,25 при $v < 10\%$. С.Н. Леонович на основании экспериментальных данных утверждает: чем больше зерен заполнителя с развитой поверхностью, тем выше вязкость разрушения; трещиностойкость высокопрочных бетонов в 1,5 – 2,0 раза выше по сравнению с обычными; гелевые поры тормозят продвижение трещин путем поглощения упругой энергии деформирования [8].

Исходя из обзора литературных данных экспериментального определения трещиностойкости бетонов и результатов определения критического коэффициента интенсивности напряжений можно сделать вывод о том, что для аппроксимации зависимости коэффициента k_{1c} от прочности бетона при растяжении следует принимать для цементного камня и мелкозернистых бетонов функцию 2.

В таблице 1 приведены численные значения коэффициентов интенсивности напряжений k_{1c} , которые на рисунке 1 представлены графиками 3,4,6. При построении графиков значения R_{bt} принимались в соответствии с СП 63.13330-2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Сопоставление данных таблицы 1 и графиков на рисунке 1 убедительно доказывает о наличии пря-

мопропорциональной зависимости между коэффициентом k_{1c} и прочностью бетона при растяжении.

Прямопропорциональная зависимость между прочностью при растяжении (R_{bt}) и коэффициентом интенсивности напряжения (k_{1c}) подтверждает достоверность физической модели механики разрушения бетона при растяжении, свидетельствует о подобии структур на различных масштабных уровнях. Следовательно, изменение значений коэффициента интенсивности напряжений с учетом изменения масштабов структуры можно описать законом Мандельброта-Ричардсона, который в данном случае примет вид

$$k_{1c} = C(\alpha)^{d_E - d_m} \quad (4)$$

где α – масштабный уровень структурной системы; C – произвольный множитель; d_E, d_m – размерность соответственно в Евклидовом и Мандельбровом пространстве; d_m принято называть фрактальной размерностью. Так как $d_m > d_E$, то в литературе встречается определение фрактальной размерности в виде разности $\beta = d_E - d_m$.

Проведем фрактальный анализ экспериментальных данных, приведенных в работе С.Н. Леоновича [8]. За характеристику масштабного уровня структуры бетона примем размер зерен заполнителя d .

В таблице 2 представлены результаты экспериментального определения k_{1c} для бетонов классов В20, В30, В40, содержащих заполнитель различной крупности. Если прологарифмировать функцию (4), то очевидно, что между $\ln(k_{1c})$ и $\ln(\alpha)$, должна соблюдаться линейная зависимость.

Таблица 2. Зависимость коэффициенты интенсивности напряжений, k_{1c} МН/м^{3/2} от размера зерен заполнителя α

Класс бетона В20, В30, В40	Размер зерен заполнителя				
	α , мм	5	20	40	80
	$\ln(d)$	1,6	3,0	3,7	4,4
В20	k_{1c}	0,26	0,25	0,30	0,33
	$\ln(k_{1c})$	-1,35	-1,39	-1,2	-1,11
В30	k_{1c}	0,32	0,38	0,42	0,45
	$\ln(k_{1c})$	-1,14	-0,97	-0,87	-0,8
В40	k_{1c}	0,41	0,56	0,65	0,75
	$\ln(k_{1c})$	-0,89	-0,58	-0,43	-0,29

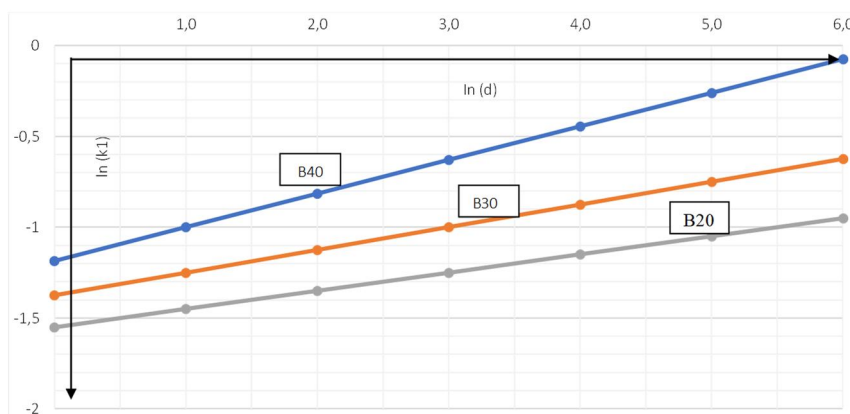


Рис.2 Линейзация зависимости $k_{1c} = f(d)$



На рисунке 2 по данным, приведенным в таблице 2, построены графики в осях $\ln(k_{1c}) - \ln(\alpha)$, из анализа которых следует, что все точки для соответствующего класса бетона располагаются на одной линии, и это подтверждает фрактальность структурной системы бетона.

Фрактальную размерность β будем определять по формуле

$$\beta = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (5)$$

где приняты обозначения $x = \ln(d)$, $y = \ln(k_{1c})$

Фрактальная размерность β структуры бетона классов В20, В30, В40 принимает соответствующие значения: $\beta(20) = 0,1$; $\beta(30) = 0,13$; $\beta(40) = 0,2$. По Мандельброту имеем $d_m(20) = 2,1$; $d_m(30) = 2,13$; $d_m(40) = 2,2$.

Решение задачи по определению фрактальной размерности структуры бетона значительно упрощается, если ввести понятие базовый элемент.

Примем в качестве базового масштаба структуры бетона крупность заполнителя 80 мм. Тогда масштаб α структуры бетона будет определяться относительно базового элемента размером 80 мм мас-

штабами $\alpha_1 = 5/80 = 0,0625$; $\alpha_2 = 20/80 = 0,25$; $\alpha_3 = 40/80 = 0,5$; $\alpha_4 = 80/80 = 1,0$.

Закон Мандельброта-Ричардсона запишем функцией вида

$$k_{1c}(d) = k_{1c}(D) \left(\frac{d}{D}\right)^{-\beta} \quad (6)$$

Экспериментальные данные, представленные в таблице 2, выразим в относительных единицах (см. табл. 3)

Графики построенные в билогарифмических осях $\ln(d/D) - \ln\left(\frac{k_1(d)}{k_1(D)}\right)$ (см. рис. 3) свидетельствуют о наличии прямопропорциональной зависимости между переменными x и y . Фрактальная размерность β оказалась равной 0,1; 0,13; 0,2.

Увеличение фрактальной размерности можно объяснить повышением неоднородности структурной системы по мере увеличения крупности заполнителя.

Выводы. Установлена прямопропорциональная зависимость между прочностью бетона при растяжении и коэффициентом интенсивности напряжений; определены значения фрактальной размерно-

Таблица 3. Результаты эксперимента в относительных единицах

d/D	0,0625	0,25	0,5	1,0
$x = \ln(d/D)$	-2,8	-1,4	-0,7	0
$y_1 = \ln\left(\frac{k_1(d)}{k_1(D)}\right)$ В20	-0,23	-0,28	-0,14	0
$y_2 = \ln\left(\frac{k_1(d)}{k_1(D)}\right)$ В30	-0,36	-0,17	-0,07	0
$y_3 = \ln\left(\frac{k_1(d)}{k_1(D)}\right)$ В40	-0,597	-0,288	-0,1	0

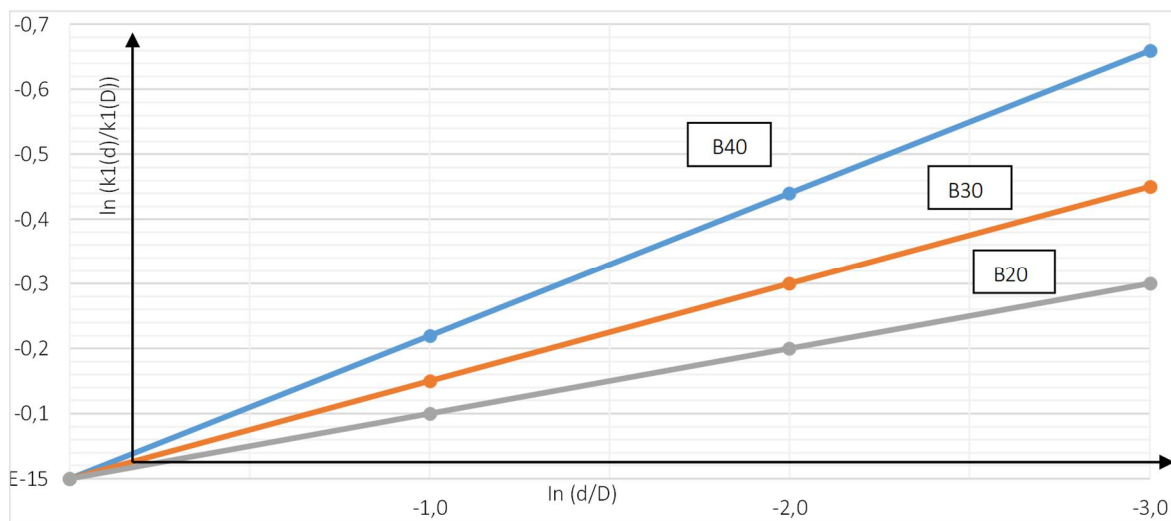


Рис. 3 Графики к определению фрактальной размерности



сти структуры бетона, которые подтверждают: гипотезы о ее многомасштабности и самоподобии; правомерность применения закона Мандельброта-Ричардсона для описания масштабной инвариантности структурно-механических характеристик цементного бетона.

Библиографический список

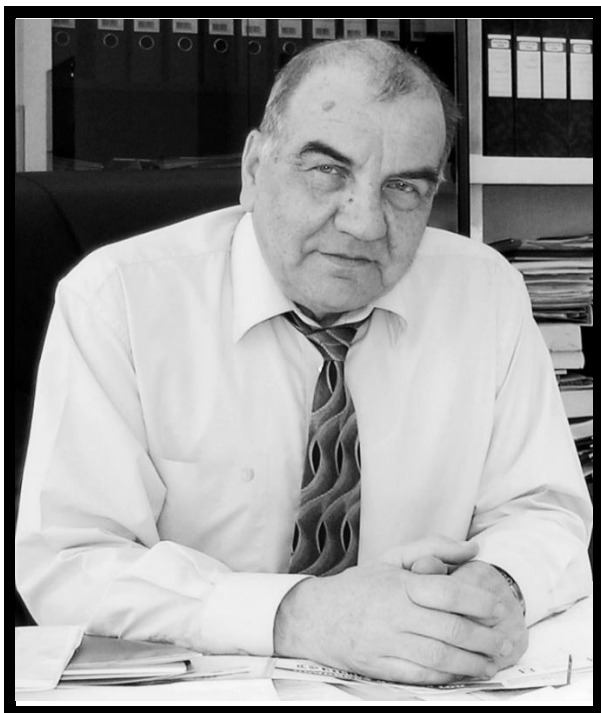
1. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика. – М.: Инфа- Инженерия, 2014. - 480 с.
2. Мендельброт Б. Фрактальная геометрия природы.- М.: Институт компьютерных исследований, 2002.- 656 с.
3. Садовский М.А. О свойстве дискретности горных пород // Физика земли. 1982. N12. С. 3-18.
4. 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 YNPNZJ.
5. Соломатов, В. И. Химическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев, Ю. А. Соколова. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Российская академия архитектуры и строительных наук, 2001. – 284 с. – EDN TIVATH.
6. Макридин Н.И., Максимова И.Н., Прошин А.П., Соколова Ю.А., Соломатов В.И. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2001. 280 с.
7. Пирадов, К. А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона / К. А. Пирадов.- Тбилиси, 1998.- 355 с.
8. Леонович, С.Н. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях. Минск. БНТУ. 2016. 393 С.
9. Коротких, Д.Н. Характеристики показателей разрушения высокопрочных бетонов на основе анализа равновесных диаграмм их деформирования. / Коротких Д.Н., Ушаков А.В. // Вестник центрального регионального отделения РААСН. 2011. 76-89 с.
10. Перфилов В.А., Акчурин Т.К. Методологический подход количественной оценки трещиностойкости и долговечности жаростойких и обычных бетонов // Известия вузов. 1995. №7-8. 62-64 с.
11. ГОСТ 29167-2021 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
12. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. Учебное издание для строительных вузов. – Москва. Высшая школа. 1991. 288 с.
13. Селяев В.П., Кузнецов Н. М. Определение зависимости между характеристиками трещиностойкости и марки бетона // Обычные и специальные бетоны на минеральных вяжущих: межвуз. сб. / КХТИ. – Казань. 1985. 48-50 с.
14. Селяев В.П., Кузнецов Н. М., Лазарев А.Л., Экспериментально-теоретический метод определения K_{1c} для бетонов. // Долговечность строительных материалов и конструкций: тез. докл. международной научной конференции – Саранск, 1995. 70 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 03.07.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 21.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 03.07.2023; approved after reviewing 21.08.2023; accepted for publication 21.08.2023.

НЕКРОЛОГ

КУПРИЯНОВ ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ. НЕКРОЛОГ



(29.06.1940–30.07.2023)

30 июля в возрасте 83 лет ушел из жизни член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), профессор, доктор технических наук, Заслуженный профессор КГАСУ, Заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан, Заслуженный работник высшей школы РФ, Почетный работник высшего образования России Валерий Николаевич Куприянов.

Похоронили его в Казани, именно здесь он жил, учился и работал...

Родился 29 июня 1940 г., в 1963 году окончил с отличием КИСИ и начал работать в вузе ассистентом. Всю свою жизнь Валерий Николаевич посвятил науке и высшей школе. В 1968 году в НИИ новых строительных материалов (г. Москва) защитил кандидатскую диссертацию, а в 1988 году в МИСИ - докторскую диссертацию. В 1971 году ему присвоено ученое звание доцента, в 1991 году - профессора. В 1988 году Куприянов В.Н. на альтернативной основе избран ректором КИСИ, с 1993 года переизбирался трижды на новый срок.

Его избрали студенты, он возглавлял вуз 20 лет. Валерий Николаевич проявил себя целеустремленным, ответственным и мудрым человеком, с большим управленческим опытом и багажом знаний. Находясь на посту ректора университета, он внес неоценимый вклад в развитие высшего образо-

Неожиданная смерть члена-корреспондента РААСН, экс-ректора, заслуженного профессора КГАСУ, члена редакционной коллегии со дня основания научно-практического сетевого издания «Эксперт: теория и практика» стала для семьи, родных и близких, для сотрудников и студентов КГАСУ, для профессионального сообщества и отечественной строительной науки, для высшей школы нашей страны невосполнимой утратой. Его коллеги, соратники вспоминают о добрых делах Валерия Николаевича, который прожил долгую жизнь и до последнего дня служил примером поразительной работоспособности, оптимизма и верности своему делу.

вания в нашей стране. Его профессионализм, верность, преданность вузу и студентам снискали большой авторитет и уважение коллег. При нем институт стал академией, университетом, а его бывшие студенты своей работой создали, один из самых крупнейших, экономических, научных, культурных, спортивных и динамично развивающихся регионов России – красивую, современную Казань, столицу Республики Татарстан.

Научные интересы профессора Куприянова В.Н. находились на стыке материаловедения и строительных конструкций, посвящены были разработке и внедрению сверхлегких строительных конструкций с ограждениями из пленочно-тканевых материалов, изучению условий эксплуатации этих материалов в сооружениях, моделированию условий эксплуатации материалов в установках ускоренного старения, разработке методов и оценке долговечности и срока службы пленочно-тканевых материалов в тентовых ограждениях. Куприянов В.Н. возглавлял работы по представлению уникального памятника архитектуры острова-града Свяжск в список Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО.

Учебная деятельность профессора Куприянова В.Н. была связана с институтом архитектуры и дизайна, кафедрами строительных материалов и архитектуры. В последние годы он возглавлял кафедру



архитектуры, на которой подготовил новый для вуза курс "Физика среды ограждающих конструкций". Совместно с коллегами Валерий Николаевич был со-автором пяти изданий учебников по строительным материалам, он автор учебных пособий, монографий в области архитектуры, теории и истории архитектуры. В течение 10 лет Валерий Николаевич являлся председателем диссертационного совета вуза.

Куприянов В.Н. был членом коллегии Министерства архитектуры, строительства и ЖКХ Республики Татарстан, президиума Учебно-методического объединения по инженерно-строительным специальностям Министерства образования и науки РФ, правления Союза строителей РТ, правления Ассоциации строительных высших учебных заведений, координационного совета РААСН по интеграции академической и вузовской науки, редакционных коллегий ряда журналов и межвузовских сборников научных трудов.

Мы помним его как крупного ученого, великого педагога, наставника, успешного руководителя, который собрал под своим началом команду единомышленников-профессионалов и воспитал достойную смену.

От редакционного совета, редакционной коллегии, редакции научно-практического сетевого издания «Эксперт: теория и практика» выражаем глубочайшее соболезнование Софье Анатольевне, родным, близким и коллегам Валерия Николаевича в связи с постигшей семью утратой. Скорбим вместе с Вами и разделяем Вашу боль. Светлая память о выдающемся ученом, руководителе, друге, замечательном человеке Валерии Николаевиче навсегда сохранится в наших сердцах. Мы его ценили и искренне уважали.

Редакционный совет, редакционная коллегия
научно-практического сетевого издания
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

KUPIRYANOV VALERY NIKOLAYEVICH. OBITUARY

The unexpected death of a correspondent member of RAACS, an ex-rector, an Honored Professor of Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE), and member of the editorial board since the inception of the scientific and practical online publication "Expert: theory and practice" was a devastating loss for family, relatives and friends, KSUAE employees and students, the professional community and domestic construction science, and the higher school of our country. Valery Nikolayevich, who lived a long life and served as an example of remarkable efficiency, optimism, and loyalty to his cause until the last day, is remembered by his colleagues and associates. The editorial board and editorial office of the scientific and practical online publication "Expert: theory and practice" express their deepest condolences to Sofia Anatolyevna, relatives, and colleagues of Valery Nikolayevich. We mourn with you and share your pain. Valeriya Nikolayevich will be remembered forever as an outstanding scientist, leader, friend, and wonderful person. We valued him and sincerely respected him.

*The editorial board, editorial staff
of the scientific and practical online edition
"EXPERT: THEORY AND PRACTICE"*

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 **Инديзайне** или загрузке в **РИНЦ** (*они видят всё*) у вас в статье будет обнаружено замена одноплатных 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
№ 3 (22) 2023 г.

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

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 3 (22) 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> 28.08.2023.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 18,37.
Электронные текстовые данные (8,07 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.