

e-ISSN: 2782-7445

p-ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2023, №2 (21)

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 **катеорию 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 Владилен 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 Никонович – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук, профессор кафедры менеджмента и цифрового маркетинга, Самарский университет государственного управления "Международный институт рынка" (Самара, Россия)
ТРАВУШ Владимир Ильич – академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный строитель РФ, Лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий, Лауреат Премии Совета Министров СССР, дважды Лауреат Премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор, вице-президент, Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

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

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

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

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

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

Published since 2019. Published 4 times a year.

Prefix DOI: 10.51608/26867818

The certificate of mass media registration **EL № ФЦ 77-83498** issued by Federal Service of Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications

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

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

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



© 2023 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0

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

Editorial Board:

Vladilen V. PETROV – Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (Saratov, Russia)
Pavel A. AKIMOV – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Rector of the Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

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

Lilia T. BAKULINA – Dr. of Law, Associate Professor, Dean of the Faculty of Law, Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russia)

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

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

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

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

Vladimir T. EROFEEV – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Materials and Technologies, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

СОРОЧАЙКИН Андрей 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

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

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

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

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

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

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

САЛИМОВА Татьяна Анатольевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, декан экономического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)

СЕРОВА Ольга Александровна – доктор юридических наук, профессор, проректор по учебной работе, Псковский государственный университет

СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный эколог РФ, Почетный работник высшего

профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Россия)
СОКОЛОВ Борис Сергеевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РТ, Лауреат госпремии РТ, научный консультант АО "Казанский Гипрониавиапром"

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

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

СУШКОВА Юлия Николаевна – доктор исторических наук, доцент, заведующий кафедрой международного и европейского права, декан юридического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)

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

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

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

Editorial Staff:

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

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

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

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

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

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

Igor G. Ovchinnikov – Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Construction

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

Ravil Z. RAKHIMOV – Corresponding Member of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Honorary Builder, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Laureate of the State Prize for Science and Technology of the Republic of Tatarstan, Dr. of Technical,

Prof., adviser to the rector, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ОПТИМАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОДОБАВОК В ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович	12
КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ БАРУЗДИН Александр Андреевич, ЗАКРЕВСКАЯ Любовь Владимировна, НИКОЛАЕВА Ксения Алексеевна	17
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ БАТЫРЕВ Константин Григорьевич, ЧИГИНСКИЙ Дмитрий Сергеевич.....	24
УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЯ ОБЪЕКТА ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ В СЛАБЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ ГАНДЕЛЬСМАН Игорь Анатольевич	32
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ НОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ ЕРМОЛИНА Лилия Валерьевна, ПРОНИНА Наталья Николаевна, МЕЛЬНИКОВА Дарья Александровна	38
ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ ГРУНТОВЫХ СВАЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ НА ФУНДАМЕНТНУЮ ПЛИТУ ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич, ГРИЦКИВ Любовь Николаевна	45
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ И ТЕРМОНАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВНЫХ БЕТОННЫХ ПЛИТ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ИВАНОВ Эрнест Николаевич, СЕМЁНОВ Кирилл Владимирович, МАНОВИЦКИЙ Сергей Сергеевич, МАКЕЕВА Александра Васильевна, КУЛЁШИН Алексей Сергеевич	48
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА С АГРЕГИРОВАННЫМ ОРИЕНТИРОВАННЫМ ФИБРОВЫМ АРМИРОВАНИЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК МАИЛЯН Левон Рафаэлович, ШИЛОВ Пётр Андреевич.....	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛ УНОСА УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ НЕМУЩЕНКО Дмитрий Андреевич, ЛАРИЧКИН Владимир Викторович	60
КИНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна, СЕДОВА Анна Алексеевна.....	68
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПРЕССОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ПИЧУГИН Анатолий Петрович, СМИРНОВА Ольга Евгеньевна, ХРИТАНКОВ Владимир Федорович.....	75

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ НА СВЕТОПРОПУСКАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ЛАРИНА Татьяна Викторовна, СМИРНОВА Ольга Евгеньевна, ТКАЧЕНКО Сергей Евгеньевич.....	82
--	----

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С МОДЕЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РИМШИН Владимир Иванович, ТРУНТОВ Павел Сергеевич	89
УЧЕТ КОНСТРУКТИВНОЙ ОРТОТРОПИИ И НЕЛИНЕЙНОЙ ПРИОБРЕТАЕМОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич, ЮЩЕНКО Никита Сергеевич	95
ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА БРУСА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ПРОГИБ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ ШЛЯХОВ Станислав Михайлович, КРИВУЛИНА Эльвира Федоровна	103

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

РАНЖИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ GHP-ИНДЕКСА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОЛЛЕКТИВА УЧЕНЫХ С РАВНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ИНДЕКСОВ ХИРША ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич	107
---	-----

ПЕРСОНАЛИЯ

ПОЗДРАВЛЯЕМ С 85-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ РФ, ЛАУРЕАТА ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ, ЛАУРЕАТА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ РФ, ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РААСН РАХИМОВА РАВИЛЯ ЗУФАРОВИЧА	112
<i>Условия размещения материалов</i>	116

CONTENT

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

OPTIMAL USE OF NANO-ADDITIVES IN PAINT AND VARNISH MATERIALS PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich.....	12
COMPOSITE MATERIAL BASED ON INDUSTRIAL WASTES BARUZDIN Alexander Andreevich, ZAKREVSKAYA Lyubov Vladimirovna, NIKOLAEVA Ksenia Alekseevna	17
PARAMETERIZATION OF DEFECTS OF METAL STRUCTURES WITHIN THE FRAMEWORK OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGY DURING INSPECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES BATYREV Konstantin Grigoryevich, CHIGINSKIY Dmitry Sergeevich	24
STRENGTHENING THE FOUNDATION OF THE HISTORICAL HERITAGE SITE IN WEAK GROUND CONDITIONS GANDELSMAN Igor Anatolievich.....	32
THE BUILDING MATERIALS' MANUFACTURING IN THE NEW ECONOMIC REALITY ERMOLINA Liliya Valerievna, PRONINA Natalya Nikolaevna, MELNIKOVA Daria Alexandrovna.....	38
DEFORMATION MEASUREMENT OF A COMPRESSED LAYER OF SOIL PILES DURING A PROLONGED LOAD ON A FOUNDATION PLATE ERYSHEV Valery Alekseevich, GRITSKIV Lyubov Nikolaevna.....	45
STIFFNESS CHARACTERISTICS OF THE GROUND BASE AND THERMAL STRESS STATE OF MASSIVE CONCRETE SLABS DURING THE CONSTRUCTION PERIOD IVANOV Ernest Nikolaevich, SEMENOV Kirill Vladimirovich, MANOVITSKYI Sergei Sergeevich, MAKEEVA Aleksandra Vasilevna, KULESHIN Aleksey Sergeevich	48
THE TECHNOLOGY OF MAKING FIBER CONCRETE WITH AGGREGATED ORIENTED FIBER REINFORCEMENT AND THE ANALYSIS OF ITS CHARACTERISTICS MAILYAN Levon Rafaelovich, SHILOV Petr Andreevich	53
RESEARCH OF ASH WASTE FROM COAL-FIRED POWER PLANTS AS A POTENTIAL RAW MATERIAL FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY NEMUSCHENKO Dmitriy Andreyevich, LARICHKIN Vladimir Viktorovich	60
KINETIC ANALYSIS OF THE CHEMICAL RESISTANCE OF FILLED CEMENT COMPOSITES TO THE ACTION OF MINERAL ACIDS SELYAEV Vladimir Pavlovich, KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna, SEDOVA Anna Alekseevna	68
COMPOSITE PRESSED MATERIALS BASED ON ORGANIC RAW MATERIAL PICHUGIN Anatoly Petrovich, SMIRNOVA Olga Evgenievna, KHRITANKOV Vladimir Fedorovich.....	75

PHYSICO-CHEMICAL INFLUENCE ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF DELIGNIFICATION ON LIGHT TRANSMISSION OF WOOD PICHUGIN Anatoly Petrovich, LARINA Tatiana Viktorovna, SMIRNOVA Olga Evgenievna, TKACHENKO Sergey Evgenyevich.....	82
---	----

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

TECHNICAL INSPECTION OF LOAD-BEARING STRUCTURES WITH MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURES RIMSHIN Vladimir Ivanovich, TRUNTOV Pavel Sergeevich	89
CONSIDERATION OF CONSTRUCTIVE ORTHOTROPY AND NONLINEAR ACQUIRED INHOMOGENEITY DURING BENDING OF RECTANGULAR PLATES OF MEDIUM THICKNESS TRESHCHEV Alexander Anatolyevich, YUSHCHENKO Nikita Sergeevich.....	95
DETERMINATION ALLOWED AND LIMITING LOADS ON BEAM CIRCULAR CROSS-SECTION FROM POROUS MATERIAL AT TORSION SHLYAKHOV Stanislav Mikhailovich, KRIVULINA Elvira Fedorovna.....	103

EXPERT OPINION

USING THE GHP-INDEX TO RANK A TEAM OF SCIENTISTS WHO HAVE EQUAL VALUES OF THE HIRSCH INDICES GERASIMENKO Petr Vasilyevich.....	107
---	-----

PERSONALITIES

CONGRATULATIONS TO RAACS CORRESPONDING MEMBER RAKHIMOV RAVIL ZUFAROVICHON, HONORED WORKER OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE RUSSIAN FEDERATION, ON THE 85TH BIRTHDAY	112
<i>Conditions for Posting Materials</i>	116

Научная статья

УДК 691.17

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_2_12

ОПТИМАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОДОБАВОК В ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

© 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 данной статье рассматриваются вопросы определения оптимальности использования нанодобавок в лакокрасочных материалах по важнейшим показателям для агропромышленного комплекса: адгезия, огнестойкость, антистатичность, тепловая защита, радиационная защита, химическая стойкость. Для оценки эффективности применения нанодобавок в различных условиях эксплуатации принят коэффициент оптимальности их использования (Коп), который учитывает относительный срок службы/долговечность наномодифицированного покрытия в условиях эксплуатации, оптимальное количество введения нанодобавок в лакокрасочный материал, стоимость нанодобавок. Коэффициент оптимальности использования нанодобавок позволяет оценить эффективность применения того или иного типа нанодобавок с учетом влияния на определенные характеристики покрытий. Оценка эффективности применения наномодифицированных лакокрасочных материалов показала, что одними из наиболее оптимальных нанодобавок для введения в лакокрасочный материал являются углеродные нанотрубки, диоксид кремния, оксид висмута. По коэффициенту оптимальности определены наилучшие сочетания при совместном введении добавок: углеродные нанотрубки (0,1 %) и оксид висмута (1 %), углеродные нанотрубки (0,1 %) и диоксид кремния (1 %), диоксид кремния (0,5 %) и цеолит (1 %). Бинарная модификация оказывает комплексное воздействие на эксплуатационную стойкость защитных покрытий, улучшается большее количество характеристик по сравнению с моно модификацией. При сравнении наномодифицированной эмали АК-1301 с традиционными специальными красками определено, что затраты на получение наномодифицированного покрытия более чем в пять раз ниже.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы; наноразмерные добавки; адгезионная прочность; огнестойкость; тепловая защита; радиационная защита; химическая стойкость; строительные материалы

Благодарность и: автор выражает благодарность заслуженному работнику высшей школы РФ, доктору технических наук, профессору Пичугину Анатолию Петровичу за консультацию и поддержку при проведении данного исследования.

Для цитирования: Пчельников А.В. Оптимальность использования нанодобавок в лакокрасочных материалах // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 12-16. doi:10.51608/26867818_2023_2_12.

Original article

OPTIMAL USE OF NANO-ADDITIVES IN PAINT AND VARNISH MATERIALS

© The Author(s) 2023

PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences
Novosibirsk State Agrarian University
(Russia, Novosibirsk, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)

Abstract. This article discusses the issues of determining the optimal use of nano-additives in paints and varnishes according to the most important indicators for the agro-industrial complex: adhesion, fire resistance, antistatic, thermal protection, radiation protection, chemical resistance. To assess the effectiveness of the use of nanoadditives in various operating conditions, the coefficient of optimal use of their use was adopted. It takes into account the relative service life/durability of the nano-modified coating under operating conditions, the optimal amount of introduction of nano-additives into the paintwork material, and the cost of nano-additives. The optimality coefficient for the use of nano-additives makes it possible to evaluate the effectiveness of the use of one or another type of nano-additives, considering the effect on certain characteristics of coatings. Evaluation of the effectiveness of the use of nano-modified paintwork materials showed that one of the most optimal nano-additives for



introduction into the paintwork material are carbon nanotubes, silicon dioxide, bismuth oxide. According to the optimality coefficient, the best combinations were determined with the joint introduction of additives: carbon nanotubes (0.1%) and bismuth oxide (1%), carbon nanotubes (0.1%) and silicon dioxide (1%), silicon dioxide (0.5%) and zeolite (1%). Binary modification has a complex effect on the operational durability of protective coatings, a greater number of characteristics are improved compared to mono-modification. Comparing nano-modified enamel AK-1301 with traditional special paints, it was determined that the cost of obtaining a nano-modified coating is more than five times cheaper.

Keywords: paints and varnishes; nanoscale additives; adhesive strength; fire resistance; thermal protection; radiation protection; chemical resistance; building materials

Acknowledgments: the author expresses gratitude to the Honored worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor Pichugin Anatoly Petrovich for advice and support during this research.

For citation: Pchelnikov A.V. Optimal use of nano-additives in paint and varnish materials // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 12-16. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_12.

Введение

Использование нанодобавок позволяет повышать эффективность применения различных строительных материалов без существенных материальных вложений [1-9]. Особую значимость в современных условиях имеет место применение отечественного сырья и технологий, которые не должны заметно влиять на стоимость конечного продукта. Ранее авторами был получен ряд результатов применения нанодобавок в лакокрасочных материалах, которые показали эффективность применения нанодобавок для получения защитных покрытий стойких к различным условиям эксплуатации по следующим характеристикам: адгезия, огнестойкость, антистатичность, тепловая защита, радиационная защита, химическая стойкость [9-12].

Большое значение для продвижения и реализации результатов экспериментальных исследований является определение оптимальности или степени эффективности их применения [13-14]. Исходя из этого, целью исследования являлось определение оптимальности использования нанодобавок в лакокрасочных материалах.

Материалы и методы

При проведении исследований принималась эмаль АК-1301, широко распространенная для окрашивания металлоконструкций, которая определена по результатам других исследований авторов [9-12]. Для модификации лакокрасочных материалов применялся состав с углеродными нанотрубками Matrix-204, наночастицы оксида висмута, диоксида, кремния, диоксида титана, оксида цинка, оксида церия, гидроксида алюминия, гидроксида магния и природного цеолита отечественных производителей.

Результаты и их обсуждения

Оценка эффективности применения наномодифицированных лакокрасочных материалов осуществлялась по результатам проведенных исследований [9-12]. Таким образом, определены наиболее оптимальные для применения нанодобавки и их со-

четание. Для оценки эффективности в различных условиях эксплуатации принят коэффициент оптимальности использования нанодобавок ($K_{оп}$) (формула 1), учитывающий относительный срок службы/долговечность наномодифицированного покрытия ($T_{с\ отн}$) в условиях эксплуатации, оптимальное количество введения в лакокрасочный материал (P), стоимость нанодобавки за 1 кг (C) и позволяющий оценить эффективность применения того или иного типа нанодобавок с учетом влияния на определенные характеристики покрытий.

$$K_{оп} = \frac{T_{с\ отн}}{P \cdot C} \cdot 100 \quad (1)$$

где $T_{с\ отн}$ – относительный срок службы/долговечность модифицированного покрытия в эксплуатационных условиях,

P – оптимальное количество введения в материал, % по массе,

C – стоимость нанодобавки за 1 кг., тыс.руб.

Актуальная стоимость нанодобавок рублей за 1 кг. принималась в соответствии с известными ценами производителей (ноябрь 2022 г.) [15-16]: состав с углеродными нанотрубками – 10000 руб., диоксид кремния – 5000 руб., цеолит природный – 680 руб., оксид висмута – 6200 руб., диоксид титана – 9000 руб., оксид цинка – 7000 руб., оксид церия – 15000 руб., гидроксид алюминия – 10000 руб., гидроксид магния – 12000 руб..

При расчетах коэффициентов оптимальности использования нанодобавок принимались следующие эксплуатационные характеристики: адгезия, химическая стойкость, огнестойкость, тепловая защита и радиационная защита. Для эксплуатационных характеристики параметр $T_{с\ отн}$ определялся в каждом конкретном случае.

Для параметра адгезии $T_{с\ отн\ а}$ – относительная долговечность покрытия по показателю адгезионной прочности определялась в соответствии с формулой 2:

$$T_{с\ отн\ а} = T_{са} - T_{са0} \quad (2)$$

где $T_{с\ отн\ а}$ – относительная долговечность покрытия по показателю адгезионной прочности,



T_{ca} – адгезионная прочность модифицированного покрытия, МПа,
 T_{cao} – адгезионная прочность немодифицированного покрытия, МПа.

Для параметра химическая стойкость $T_{c\text{отн хс}}$ – относительная долговечность покрытия по степени равновесного набухания определялась в соответствии с формулой 3:

$$T_{c\text{отн хс}} = t \cdot (1 - \alpha) \quad (3)$$

где $T_{c\text{отн хс}}$ – относительная долговечность покрытия по степени равновесного набухания,
 t – время набухания, мин (60 мин),
 α – равновесная степень набухания покрытия.

Для параметра огнестойкость $T_{c\text{отно}}$ – относительный срок службы покрытия по показателю воспламенения определялся в соответствии с формулой 4:

$$T_{c\text{отно}} = T_{co} - T_{co0} \quad (4)$$

где $T_{c\text{отно}}$ – относительный срок службы покрытия по показателю воспламенения

T_{co} – время до воспламенения модифицированного покрытия, с.

T_{co0} – время до воспламенения немодифицированного покрытия, с.

Для параметра тепловая защита $T_{c\text{отн тз}}$ – относительная долговечность покрытия по изменению температуры при воздействии тепла определялась в соответствии с формулой 5:

$$T_{c\text{отн тз}} = T_{ctз} - T_{ctз0} \quad (5)$$

где $T_{c\text{отн тз}}$ – относительная долговечность покрытия по изменению температуры при воздействии тепла,
 $T_{ctз}$ – температура на поверхности образца модифицированного покрытия при времени воздействия тепла на образец 200 с, $^{\circ}\text{C}$,

$T_{ctз0}$ – температура на поверхности образца немодифицированного покрытия при времени воздействия тепла на образец 200с, $^{\circ}\text{C}$.

Для параметра радиационная защита $T_{c\text{отн рз}}$ – Относительная долговечность покрытия по изменению температуры при воздействии тепла определялась в соответствии с формулой 6:

$$T_{c\text{отн рз}} = t(\alpha_3 - \alpha) \quad (6)$$

где $T_{c\text{отн рз}}$ – относительный срок службы покрытия по степени радиационного загрязнения на образце;
 t – время выдержки образца в радиационной среде, мин (180 мин.);

α – уровень радиоактивного α -загрязнения на образце с модифицированным покрытием, альфа-част/см²*мин.;

α_3 – уровень радиоактивного α -загрязнения на образце с немодифицированным покрытием, альфа-част/см²*мин.

Результаты расчетов по вышеприведенным формулам представлены в таблицах 1 и 2. В ячейках таблицы показано значение K_{op} , а также показана степень влияния конкретной нанодобавки/сочета-

ния нанодобавок на эксплуатационную характеристику. Чем существеннее положительное влияние, тем большее количество знаков «+» в ячейке.

Таблица 1 – Влияние мономодификации на коэффициент оптимальности введения нанодобавок

Эксплуатационные характеристики	МОНОМОДИФИКАЦИЯ			
	УНТ	Оксид висмута	Диоксид кремния	Диоксид титана
1	2	3	4	5
Адгезия	++++ $K_{op}=0,020$	+++ $K_{op}=0,014$	++ $K_{op}=0,012$	++ $K_{op}=0,007$
Химическая стойкость	++++ $K_{op}=1,080$	+++ $K_{op}=0,590$	+++ $K_{op}=0,900$	++ $K_{op}=0,470$
Огнестойкость	+++ $K_{op}=0,200$	++++ $K_{op}=0,230$	+ $K_{op}=0,040$	+ $K_{op}=0,011$
Тепловая защита	++ $K_{op}=0,100$	+++ $K_{op}=0,150$	+++ $K_{op}=0,190$	++ $K_{op}=0,033$
Радиационная защита	++ $K_{op}=0,320$	++ $K_{op}=0,160$	+++ $K_{op}=0,610$	+ $K_{op}=0,100$
Эксплуатационные характеристики	Оксид цинка	Оксид церия	Гидроксид алюминия	Гидроксид магния
Адгезия	++ $K_{op}=0,006$	+ $K_{op}=0,001$	+ $K_{op}=0,001$	++ $K_{op}=0,003$
Химическая стойкость	++ $K_{op}=0,620$	+ $K_{op}=0,290$	+ $K_{op}=0,080$	++ $K_{op}=0,070$
Огнестойкость	++ $K_{op}=0,070$	++ $K_{op}=0,033$	+++ $K_{op}=0,020$	+++ $K_{op}=0,017$
Тепловая защита	++ $K_{op}=0,086$	+++ $K_{op}=0,070$	+++ $K_{op}=0,016$	++ $K_{op}=0,010$
Радиационная защита	++ $K_{op}=0,180$	+ $K_{op}=0,010$	+ $K_{op}=0,010$	+ $K_{op}=0,010$

Исходя из таблиц 1 и 2, можно сделать вывод, что наиболее оптимальные нанодобавками для моно введения являются углеродные нанотрубки, диоксид кремния, оксид висмута. При этом оказывается положительное влияние на две-три эксплуатационные характеристики из пяти. При бинарном введении наиболее оптимальные сочетания: углеродные нанотрубки совместно с оксидом висмута, углеродные нанотрубки совместно с диоксидом кремния, диоксид кремния совместно с цеолитом. В этом же случае возможно оказывать более существенное положительное влияние сразу на три-четыре эксплуатационные характеристики из пяти.

Таким образом, бинарным введением добавок возможно добиться более существенного повышения эксплуатационных характеристик, в некоторых случаях практически по всем показателям, при этом повышается значение K_{op} , что говорит об экономической целесообразности применения нанодобавок при совместном введении.



Таблица 2 – Влияние бинарной модификации на коэффициент оптимальности введения нанодобавок

Эксплуатационные характеристики	БИНАРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ			
	УНТ+ Оксид висмута	УНТ+ диоксид кремния	Диоксид кремния+ Цеолит	Оксид висмута+ диоксид кремния
1	2	3	4	5
Адгезия	++++ $K_{оп}=0,032$	+++ $K_{оп}=0,012$	++ $K_{оп}=0,019$	++ $K_{оп}=0,005$
Химическая стойкость	++++ $K_{оп}=0,380$	+++ $K_{оп}=0,470$	+++ $K_{оп}=1,400$	++ $K_{оп}=0,350$
Огнестойкость	++++ $K_{оп}=0,200$	+++ $K_{оп}=0,150$	+++ $K_{оп}=0,170$	+++ $K_{оп}=0,080$
Тепловая защита	++++ $K_{оп}=0,230$	++++ $K_{оп}=0,300$	+++ $K_{оп}=0,190$	++++ $K_{оп}=0,18$
Радиационная защита	++ $K_{оп}=0,170$	++++ $K_{оп}=0,490$	++++ $K_{оп}=2,600$	+++ $K_{оп}=0,150$
Эксплуатационные характеристики	УНТ+ Оксид церия	УНТ+ гидроксид алюминия	УНТ+ гидроксид магния	УНТ+ диоксид титана
Адгезия	++ $K_{оп}=0,003$	+ $K_{оп}=0,001$	++ $K_{оп}=0,003$	+ $K_{оп}=0,001$
Химическая стойкость	+++ $K_{оп}=0,240$	+ $K_{оп}=0,280$	+ $K_{оп}=0,250$	+ $K_{оп}=0,300$
Огнестойкость	++ $K_{оп}=0,030$	+++ $K_{оп}=0,070$	++++ $K_{оп}=0,100$	++ $K_{оп}=0,030$
Тепловая защита	++ $K_{оп}=0,030$	++ $K_{оп}=0,030$	+++ $K_{оп}=0,060$	+ $K_{оп}=0,010$
Радиационная защита	++ $K_{оп}=0,050$	+ $K_{оп}=0,010$	+ $K_{оп}=0,010$	+ $K_{оп}=0,010$

Таблица 3 – Сравнение затрат на создание лакокрасочного покрытия площадью 1 м²

№ п/п	Наименование ЛКМ/добавки	Средняя стоимость (ноябрь 2022) руб за 1 кг	Расход материалов, кг	Стоимость материалов на 1 кв.м, руб	Итоговая стоимость ЛКМ, руб
1	Акриловая эмаль АК- 1301	951	0,1	95,1	95,1
2	Спец краска Огнеза-Ум	1295	0,46	559,7	559,7
3	Акриловая эмаль АК- 1301	951	0,1	95,1	111,3
	Состав с УНТ Matrix 204	10000	0,0001 (0,1%)	10	
	Наночастицы Оксида висмута Bi ₂ O ₃	6200	0,001 (1%)	6,2	

При проведении сравнения затрат на создание защитного покрытия на площади 1 м² (таблица 3) учитывались технологические рекомендации и параметры исходных лакокрасочных материа-

лов (укрывистость, вязкость и др.), которые влияют на их расход.

В результате приведенных сравнений установлено, что затраты на создание покрытия акриловой эмалью АК-1301 без нанодобавок составляют 85,1 рублей. При введении наномодификаторов оксида висмута и состава с углеродными нанотрубками стоимость создания покрытия возрастает на 16,2 рубля, при этом долговечность покрытия по большинству показателей возрастает более чем в 2 раза.

В случае сравнения, в качестве примера, со специальной краской «Огнеза-Ум», обладающей повышенной атмосферостойкостью и огнестойкостью разница затрат, по сравнению с наномодифицированной акриловой эмалью АК-1301, составляет более чем 5 раз (448,4 рубля). Аналогичная разница наблюдается и по сравнению с другими специальными красками. Стоит отметить, что специальные краски обладают целенаправленным эффектом и способны обеспечить повышение одной-двух эксплуатационных характеристик. Применение наномодифицированной акриловой эмали АК-1301 позволяет получать защитные покрытия с повышенной эксплуатационной стойкостью, которые обладают комплексным эффектом (высокие физико-механические характеристики, химическая стойкость, огнестойкость и пр.).

Заключение

Оценка эффективности применения наномодифицированных лакокрасочных материалов показала, что одними из наиболее оптимальных нанодобавок для введения в лакокрасочный материал являются углеродные нанотрубки, диоксид кремния и оксид висмута. По коэффициенту оптимальности ($K_{оп}$) определены наилучшие сочетания при совместном введении добавок: углеродные нанотрубки (0,1 %) и оксид висмута (1 %), углеродные нанотрубки (0,1 %) и диоксид кремния (1 %), диоксид кремния (0,5 %) и цеолит (1 %). Бинарная модификация оказывает комплексное воздействие на эксплуатационную стойкость защитных покрытий, улучшается большее количество характеристик по сравнению с моно модификацией. При сравнении наномодифицированной эмали АК-1301 с традиционными специальными красками определено, что затраты на получение наномодифицированного покрытия более чем в пять раз ниже. Таким образом, наномодификация лакокрасочных материалов позволяет повысить срок службы и долговечность лакокрасочных покрытий по большинству важнейших эксплуатационных характеристик.

Библиографический список

1. 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. – EDN TJDRBF.

2. Патент № 2637246 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/02, С04В 14/38, С04В 24/24. Наномодификатор строительных материалов : № 2016140311 : заявл. 12.10.2016 : опубл. 01.12.2017 / А. Г. Ткачев, Ю. Н. Точков, З. А. Михалева, Т. И. Панина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет".

3. Перспективы применения углеродных нанотрубок для модифицирования сварных швов в металлоконструкциях / А. М. Болдырев, А. Г. Ткачев, В. Ф. Першин [и др.] // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году : Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2020. – С. 121-127.

4. Исследование структуры и свойств наномодифицированной строительной керамики / Ю. Н. Гинчицкая, Г. И. Яковлев, Р. Дрохитка [и др.] // Строительные материалы. – 2018. – № 1-2. – С. 27-32. – EDN YRQXTS.

5. Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов / В. С. Лесовик, Р. С. Федюк, А. М. Гридчин, Г. Мурали // Строительные материалы. – 2021. – № 9. – С. 32-40. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-795-9-32-40. – EDN QQQYWC.

6. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов / В. В. Нелюбова, С. А. Усиков, В. В. Строкова, Д. Д. Нецвет // Строительные материалы. – 2021. – № 12. – С. 48-54. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-798-12-48-54. – EDN MWNAJK.

7. Оптимизация составов цементных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов, содержащих углеродные наномодификаторы / Т. Низина, А. Балыков, Д. Коровкин, В. Володин // Наноиндустрия. – 2017. – № 7(78). – С. 82-91. – DOI 10.22184/1993-8578.2017.78.7.82.91. – EDN XDVQVJ.

8. Влияние размерного распределения наномодифицированных частиц латекса на структуру гипсовых материалов / Д. Г. Летенко, М. В. Мокрова, Л. Ю. Матвеева, Ю. М. Тихонов // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 4(75). – С. 95-101. – DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-95-101. – EDN LWKEEC.

9. 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. – DOI 10.31659/0585-430X-2022-804-7-45-50. – EDN BCJOSY.

10. Теплозащитные свойства полимерных композиций с наноразмерными и специальными добавками / А. П. Илясов, А. В. Пчельников, А. П. Пичугин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 3(759). – С. 15-24. – DOI 10.32683/0536-1052-2022-759-3-15-24. – EDN DEJXPY.

11. 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. – DOI 10.51608/26867818_2022_1_14. – EDN WIQQMF.

12. Защитные свойства композиций с наноразмерными и специальными добавками от радиационного воздействия / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. В. Пчельников, Д. В. Ромашев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 12(756). – С. 24-33.

13. Абрютин М. С. Экономический анализ деятельности / М. С. Абрютин – М: Издательство «Дело и Сервис», 2013. – 512 с.

14. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. - М: Либроком, 2010. - 284 с.

15. Целевые добавки для лакокрасочных материалов [Электрон. ресурс]. – URL: <https://novosibirsk.arsenal-kama.ru/articles/lakokrasochnye-materialy/celevye-dobavki-dlya-lakokrasochnyh-materialov/> [Дата обращения: 01.02.2023].

16. Цеолит природный [Электронный ресурс]. – URL: https://chita.teplochim.ru/ceolity/ceolit_prirodnyy [Дата обращения: 01.02.2023].

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.03.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.03.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья
УДК 691.534.2
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_2_17

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

© Авторы 2023
ORCID: 0000-0002-7391-1396

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

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

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

ORCID: 0000-0002-1171-4119

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

Аннотация. Актуальность исследований обусловлена большими объёмами отходов строительной отрасли, возникающих при демонтаже, возведении, ремонте и реконструкции зданий. Проведены исследования по подбору состава композитного материала на основе гашеной извести, песка, обожжённой глины, гипса, диатомита и кирпичной крошки (цемянки), пригодного для применения в качестве кладочного, отделочного или ремонтного состава. Целью работы является создание известковых строительных растворов с использованием кирпичной крошки (цемянки), тем самым увеличивая долю строительных отходов вовлекаемых в переработку. Задачами работы являются: анализ современного состояния проблемы утилизации строительных отходов в России, синтез строительных растворов и определение их основных физико-механических характеристик, исследование возможности применения данных составов в качестве кладочного, отделочного и ремонтного материала. В результате данного исследования разработаны составы композиционных материалов, содержащих известь до 35% масс. с прочностью на сжатие от 2,25 до 6,3 МПа, плотностью 1200-1300 кг/м³, морозостойкостью до 35 циклов, с коэффициентом размягчения до 0,74 пригодных для использования в качестве отделочных и кладочных материалов.

Ключевые слова: строительные материалы; кирпичная крошка; известь; гипс; прочность на сжатие; коэффициент размягчения; морозостойкость; рециклинг; строительные отходы

Благодарность и: работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ).

Для цитирования: Баруздин А.А., Закревская Л.В., Николаева К.А. Композиционный материал на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 17-23. doi:10.51608/26867818_2023_2_17.



Original article

COMPOSITE MATERIAL BASED ON INDUSTRIAL WASTES

© The Author(s) 2023

BARUZDIN Alexander Andreevich

PhD Candidate

*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov
(Russia, Vladimir, e-mail: Baruzdin98@bk.ru)***ZAKREVSKAYA Lyubov Vladimirovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov
(Russia, Vladimir, e-mail: lvzak@mail.ru)***NIKOLAEVA Ksenia Alekseevna**

Student

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

Abstract. The relevance of the research is justified by the large volumes of waste from the construction industry. Construction waste is arising from dismantling, constructing, repairing and reconstructing buildings. The research has been carried out on the selection of the mixture ratio of a composite material. The ratio is based on slaked lime, sand, baked clay, gypsum, diatomite and a broken brick (*opus signinum*) and intended for use as a masonry, finishing, or a repair composition. The aim of the work is to create the lime solutions with the broken brick in order to increase the share of construction waste that is involved in recycling. There are three objectives of the work. The first one is to analyze the current conditions of a problem of the utilization of the construction waste in Russia. The second is to find a synthesis of solutions and to determine their basic physical and mechanical characteristics. The third is to study the possibility of using these compositions as a masonry, finishing, and a repair material. As a result of this study, the mixture ratio of the composite material has been developed. The material contains lime up to 35% of the mass. Its compressive strength is from 2.25 to 6.3 MPa. The density is 1200-1300 kg / m³. The frost resistance is up to 35 cycles. The softening coefficient is up to 0.74. That makes this material suitable for being used as finishing and masonry.

Keywords: building materials; broken brick; lime; gypsum; compressive strength; malaxation coefficient; frost resistance; recycling; construction waste

Acknowledgments: the research was carried out within the state assignment in the field of scientific activity of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme FZUN-2020-0015, state assignment of the VISU).

For citation: Baruzdin A.A., Zakrevskaya L.V., Nikolaeva K.A. Composite material based on industrial wastes // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 17-23. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_2_17.

Введение

Одной из важнейших проблем современной строительной индустрии является производство строительных композиционных материалов с использованием доступного, дешевого, невостребованного сырья к которому относятся отходы горнодобывающей промышленности и отходы строительного производства, включающие в себя как отходы от демонтажа конструкций и реновации, так и отходы возникающие при возведении, ремонте и реконструкции зданий и сооружений.

Переработка в строительстве и ремонте предполагает повторное использование материалов, которые в противном случае были бы выброшены как отходы. Это может включать широкий спектр материалов, таких как: бетон, кирпич, дерево, сталь, гип-

сокартон, стекломagneзиальный лист, стекло, штукатурка, теплоизоляция, изоляция и многие другие. Целью вторичной переработки в строительстве и ремонте является сокращение количества образующихся отходов, минимализация использования нового сырья и сохранение природных ресурсов.

Существует несколько способов утилизации во время строительных и ремонтных работ. Например, один из них – использование переработанного бетона или кирпича в качестве заполнителя.

Переработка в строительстве и ремонте может иметь ряд преимуществ, включая снижение негативного воздействия на окружающую среду, снижение затрат и поддержку местной экономики за счет создания рабочих мест в перерабатывающей промышленности. Это важный аспект методов



устойчивого строительства, который может помочь уменьшить общий экологический след застроенной среды.

Исследования посвящены использованию отходов строительного производства совместно с отходами горнодобывающей промышленности для получения бесцементных композиционных материалов, пригодных для использования в качестве кладочных, отделочных и ремонтных составов, в том числе по программе «Применения вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022-2030 годы» Министерства строительства и коммунального хозяйства.

Изготовление известковых растворов с использованием кирпичного боя началось еще в древности. Известь – одно из первых, используемых в строительстве, вяжущих веществ наряду с необожжённой глиной и гипсом. Впервые известь стали широко применять в Греции. В Микенский период (XVI-XI в. до н.э.) известь применяли для штукатурных и облицовочных работ, а также в качестве грунта для настенной росписи, затем её начали использовать и при строительстве гидротехнических сооружений [1].

Впервые вяжущие вещества из известки на Руси применялись при сооружении Десятинной церкви в Киеве в 990 г. Растворы состояли преимущественно из цемянки, песка, глины, толченого известняка. Цемянка представляла собой хорошо обожжённое, однородное тесто без песка и являлась, вероятнее всего специальной обожжённой глиной. В более поздних растворах происходит замена специально обожжённой глины на бой плинфы (кирпича), встречается использование толченого известняка. Автор работы [2] утверждает, что использование боя плинфы (кирпича) способствует уменьшению усадки раствора и снижению содержания известки, а использование толченого известняка улучшает каркасность раствора и создает дополнительные центры кристаллизации, увеличивающие прочность.

В современных реалиях строительство и демонтаж строительных конструкций сопровождается образованием значительного объёма строительных отходов, большая часть которых приходится на кирпичный бой и бетонный лом [3].

Помимо таких отходов как кирпичный и бетонный лом, древесина и металл отдельно стоит упомянуть стеклобой. Ежегодно количество образующихся на территории западноевропейских стран отходов стекла оценивается в миллионы тонн и ситуация в России не является исключением. Только из Московской области ежегодно вывозится около 3,25 млн. тонн стеклобоя, поэтому его утилизация и вторичное использование является актуальной задачей [4].

На рис. 1 представлена структура строительных отходов по видам материалов.

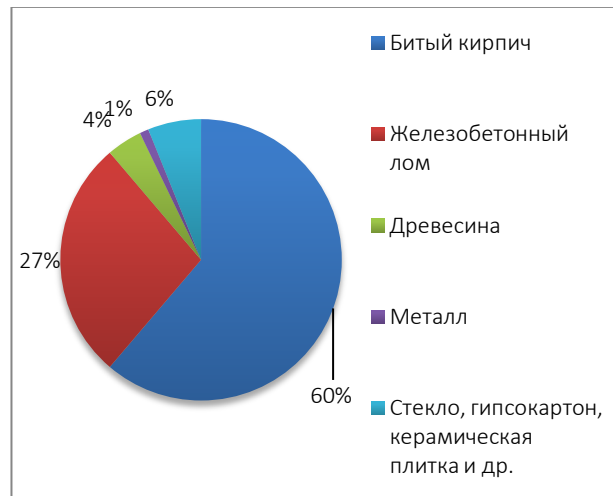


Рис. 1. Структура строительных отходов по видам материалов, %

В развитых странах доля переработки строительных отходов составляет около 50% их общего объема за счет совершенствования технологий рециклинга. А такие страны как Дания, Нидерланды, Швеция, Германия и ряд других смогли достигнуть очень высокого уровня переработки, – более 90% таких отходов. В России ежегодно образуется 15-17 млн. т строительного мусора, тогда как основным способом утилизации остается захоронение, поэтому вопрос рециклинга строительных отходов как никогда актуален в современных реалиях [5].

На рис. 2 представлена статистика доли переработки строительных отходов в некоторых странах.

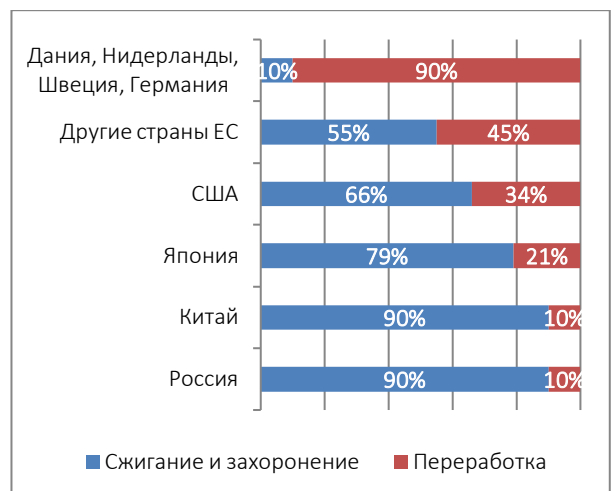


Рис. 2. Доля переработки строительных отходов в странах, %

Использование кирпичной крошки при производстве бесцементных композиционных вяжущих позволит увеличить объем строительных отходов во-



влекаемых в хозяйственный оборот в качестве вторичных ресурсов.

В данной работе были синтезированы строительные растворы на основе извести, песка, глины, диатомита, гипса и кирпичной крошки образующейся от дробления кирпичного боя.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе кафедры СП ВлГУ имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых с помощью современного оборудования и приборов, таких как пресс ручной ПРГ-1-10, смеситель лабораторный, прибор для измерения удельной поверхности и среднего размера частиц ПСХ-10, стандартный конус ПГР для определения подвижности смеси, прибор Вика, камера тепла и холода испытательная СМ-60/150-80-ТХ, оптический микроскоп МБС-9, сканирующий электронный микроскоп SEM. Рентгенофазовый анализ проводился на порошковом дифрактометре Bruker AXS D8 ADVANCE (модель D8, фирма-производитель: «Bruker Optik GmbH», Германия).

Для синтеза строительных растворов использовались: гашеная известь, высокопрочный гипс, диатомит, кварцевый песок, обожжённая глина, кирпичная крошка (цемянка). В таблице 1 представлены свойства исходных материалов.

Таблица 1- Свойства исходных материалов

Компоненты	Высокопрочный гипс Г-19 (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	R _{сж} =19 Мпа; R _{изг} =6,55 Мпа W _{масс} =18% > 5 мин 11 мин
	Диатомит	Содержание SiO ₂ – 70-96% ρ=350-1600 кг/м ³ ρ _{ист} =2000-2500 кг/м ³ R _{сж} =2-15 Мпа Твердость по шкале Мооса – 1-4 S _{уд} =5500-12000 см ² /см ³
	Гашеная известь (Ca(OH) ₂)	Содержание Ca(OH) ₂ – 78,48%
	Кварцевый песок (SiO ₂)	Фракция 0,05-0,25 мм
	Обожжённая глина	ρ=1200 кг/м ³
	Кирпичная крошка (цемянка)	Фракция 0,05-0,25 мм S _{уд} =3200 см ² /г

Основным вяжущим веществом в составе выступает гашеная известь являющаяся отходом Ковровского завода извести. Рентгенофазовый анализ извести представлен на рис. 3 и говорит о том, что содержание Ca(OH)₂ более 78% и данный материал пригоден для использования в качестве вяжущего.

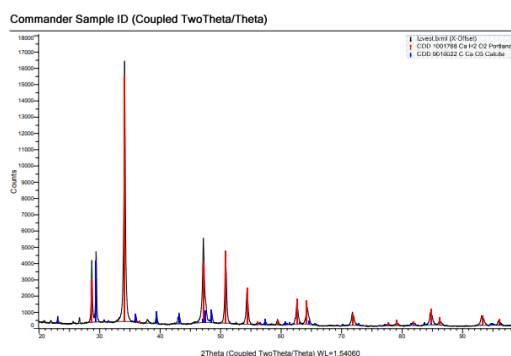
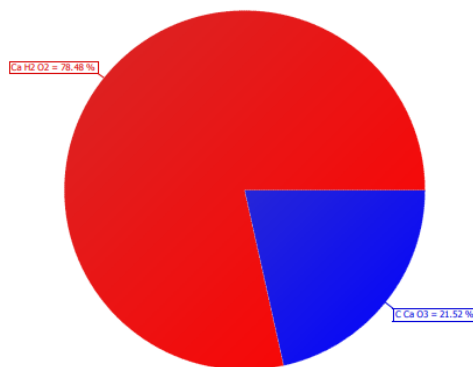


Рис. 3. Рентгенофазовый анализ извести (РФА)

В таблице 2 представлен химический состав используемого кварцевого песка, полученный с помощью рентгенофазового анализа.

Таблица 2–Химический состав песка

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O
Масс.%	97,952	0,961	0,537	0,132	0,142	0,081	0,004	0,022	0,052

Из данных рентгенофазового анализа видно, что доля чистого кремнезема в песке составляет 97,95%, что свидетельствует об отсутствии значительных примесей.

На рисунке 4 изображено использовавшееся оборудование.

Методика эксперимента заключалась в следующем: в необходимом количестве взвешивались материалы и помещались в смеситель (Рис. 4а), затем смесь компонентов перемешивалась в сухом виде, после чего добавлялась в необходимом количестве вода и включался смеситель. Готовая смесь укладывалась в формы 2х2х2 см (Рис. 4б), полученные методом послойного наплавления пластика (FMD печать), после этого образцы помещались в камеру твердения. По истечению 28 суток определялась прочность образцов на сжатие, морозостойкость и коэффициент размягчения.



Рис. 4. Используемое оборудование:

а — лабораторный смеситель; б — формы 2х2х2 см, полученные методом послойного наплавления пластика (FMD печать); в — пресс ручной ПРГ-1-10; г — камера тепла и холода SM-60/150-80-TX

Физико-механические свойства исходных материалов и полученных композитных составов оценивались по стандартным методикам. Прочность на сжатие образцов была измерена методом разрушения с помощью пресса ПРГ-1-10 (Рис.4в) в соответствии с ГОСТ 5802-86.

Морозостойкость определялась с помощью камеры тепла и холода SM-60/150-80-TX (Рис.4г) методом попеременного замораживания и образцов в состоянии насыщения водой при температуре 15 °С и оттаивания их в воде при температуре 15-20 °С согласно ГОСТ 5802-86.

Для определения водостойкости образцы насыщались водой после чего подвергались испытанию на сжатие. С помощью коэффициента размягчения была найдена водостойкость полученного материала.

Результаты

Изготовленные образцы представлены на рис. 5.

В таблице 3 представлена сетка синтезированных составов композиционных материалов.

Для анализа полученных характеристик были проанализированы существующие известковые растворы [7-8].

В таблице 4 представлены результаты исследования физико-механических свойств синтезированных материалов и характеристики существующих растворов.



Рис. 5. Изготовленные образцы композиционного материала

Таблица 3 – Составы синтезированных композитов

Марка состава	Компоненты, масс %						
	Диатомит	Высокопрочный гипс	Гашеная известь	Кварцевый песок	Обожжённая глина	Кирпичная крошка	Вода
1	5	8	35	14	5	5	28
2	5	8	35	10	5	9	28
3	5	8	35	6	5	13	28
4	5	8	30	19	5	5	28
5	5	8	30	17	5	7	28
6	5	8	30	12	5	12	28
7	5	8	30	8,6	5	15,4	28
8	5	8	30	5	5	19	28
9	5	8	25	20	5	9	28
10	5	8	25	14,7	5	14,3	28
11	5	8	25	10	5	19	28

Таблица 4 – Результаты исследования основных свойств составов

Марка состава	Наименование показателей						
	Плотность ρ , кг/м ³	Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа		Коэффициент размягчения, K_p		Морозостойкость F , циклов	
		Синтезированные образцы	Аналоги	Исследуемые образцы	Аналоги	Синтезированные образцы	Аналоги
1	1230	2,25		0,61		30	
2	1200	3,25		0,60		30	
3	1280	3,75		0,64		30	
4	1240	3,25		0,61		25	
5	1260	3,5		0,60		25	
6	1250	4,0	2,4-5,4	0,69	0,55-0,78	25	35
7	1260	5,0		0,72		35	
8	1250	6,3		0,70		35	
9	1300	3,0		0,65		35	
10	1300	4,0		0,71		35	
11	1280	4,75		0,74		30	

Обсуждение

Из таблицы 3 и графиков изображенных на рис. 6, 7 видно, что по мере увеличения в заполнителе доли содержания кирпичной крошки и уменьшения доли кварцевого песка прочность на сжатие постоянно возрастает.

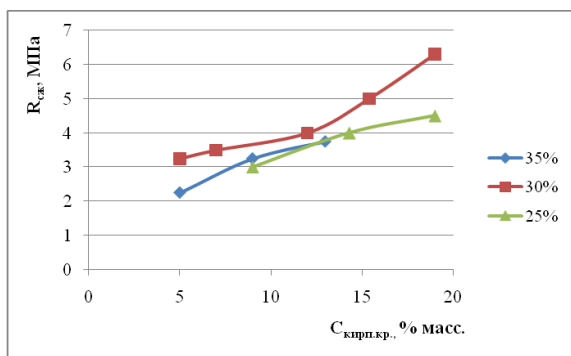


Рис. 6. Зависимость прочности на сжатие от содержания кирпичной крошки в % масс. при 25,30, 35% содержания извести

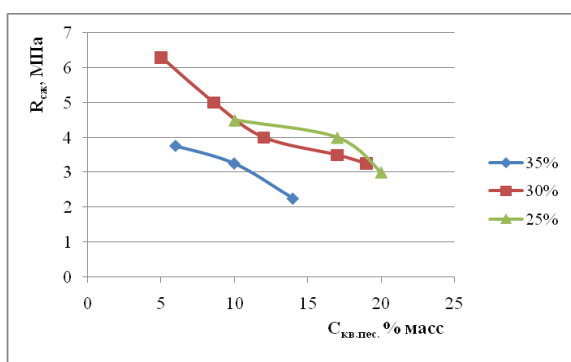
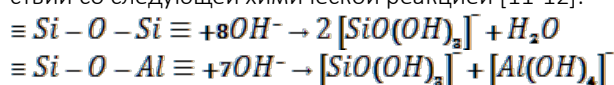


Рис. 7. Зависимость прочности на сжатие от содержания кварцевого песка в % масс. при 25,30, 35% содержания извести

Этот вывод отчасти коррелируется с работами ряда исследователей [9-10] которые утверждают, что тонкомолотый глиняный кирпич обладает пуццолановой активностью. Смесь гидроксида кальция (извести) с молотым боем кирпича и затворенная водой способна образовывать гидроксиды кальция и гидроалюминаты кальция. Условием протекания реакции является pH раствора равного 12,5 и температура воздуха 25 ° С.

Высокие концентрации ионов OH⁻ способны разрушать связи в кремнеземе, силикатах и алюмосиликатах с образованием простых ионов, в соответствии со следующей химической реакцией [11-12]:



Помимо кирпичной крошки пуццолановой реакционной способностью обладают диатомит, который является отходом горнодобывающей промышленности, и обожжённая глина. Добавка гипса в свою очередь увеличивает скорость набора прочно-

сти и способствует более раннему и более интенсивному процессу кристаллизации.

Также данными авторами подтверждено, что добавление измельченного глиняного кирпичного порошка уменьшает объем и количество пор. Дополнительные гидраты, образующиеся в результате пуццолановой реакционной способности кирпичного порошка, глины и диатомита увеличивают плотность матрицы и улучшают структуру материала, повышая, таким образом, его водостойкость.

Эту гипотезу также подтверждают снимки синтезированных растворов выполненные с помощью оптического микроскопа (Рис. 8). На снимках видно, что образец с содержанием кирпичной крошки 15,4% обладает более плотной структурой по сравнению с образцом, содержащим 5% кирпичной крошки.

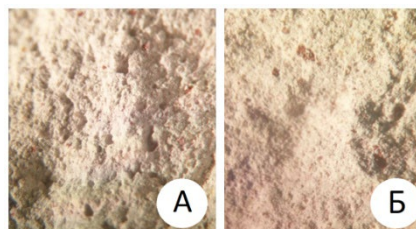


Рис. 8. Снимки образцов выполненные с помощью оптического микроскопа при 7-кратном увеличении: а – образец с 5% содержанием кирпичной крошки, б – образец с 15,4% содержанием кирпичной крошки

В работе [13] были исследованы прочностные свойства цементно-песчаных растворов с добавлением тонкомолотого кирпича. Установлено, что добавление тонкомолотого кирпича до 20% от массы цемента увеличивает прочность раствора, что соответствует результатам данного исследования, что при добавлении молотого кирпича в состав известково-песчаного раствора до 20% от массы прочность композита возрастает.

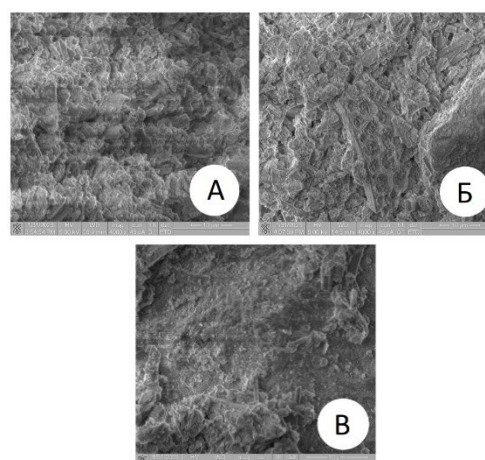


Рис. 9. Растровая электронная микроскопия образцов с содержанием извести по массе: а – 25%; б – 30%; в – 35%



На рис. 9 представлены результаты исследования образцов с разным содержанием извести по массе с помощью растровой электронной.

Структура образцов с содержанием извести 30% по массе отличается равномерным расположением кристаллов без пор и пустот. В образцах с содержанием 25% извести структура более рыхлая, а в случае с 35% встречаются крупные игольчатые кристаллы.

Выводы

В результате исследований были синтезированы составы известковых растворов, содержащих известь до 35% масс. с прочностью на сжатие от 2,25 до 6,3 МПа, плотностью 1200-1300 кг/м³, морозостойкостью до 35 циклов, с коэффициентом размягчения до 0,74 пригодных для использования в качестве отделочных и кладочных материалов.

Установлено, что при добавлении в состав известкового раствора кирпичной крошки до 20% от массы прочность композита возрастает. Это обусловлено тем, что тонкомолотая кирпичная крошка обладает пуццолановой активностью и в смеси с гашеной известью и водой способна образовывать гидроксиды кальция и гидроалюминаты кальция. Помимо кирпичной крошки пуццолановой реакционной способностью обладают диатомит и обожжённая глина.

Дополнительные гидраты, образующиеся в результате пуццолановой реакционной способности кирпичного порошка, глины и диатомита увеличивают плотность матрицы и улучшают структуру материала, повышая, таким образом, его водостойкость.

Добавка гипса увеличивает скорость набора прочности и способствует более раннему и более интенсивному процессу кристаллизации.

С помощью растровой электронной микроскопии было установлено, что образцы с 30% содержанием извести обладают более плотной структурой по сравнению с образцами с 25% и 35% содержанием извести по массе.

Результаты работы могут послужить основанием для синтеза новых композиционных материалов с помощью рециклинга отходов гипсокартона, известковой штукатурки и кирпичного боя. Решение использовать при производстве новых растворов данные отходы может позволить синтезировать высококачественные материалы из дешевого сырья, что будет иметь большой экологический и экономический эффект.

Библиографический список

1. Пашенко, А.А. Вяжущие материалы / А.А. Пашенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская, 2-е изд. // К.: Вища шк., Головное изд-во, 1985. – 440 с.
2. Медникова, Е.Ю. Строительные растворы из архитектурных памятников южной Руси / Е.Ю. Медникова, А.А. Пескова // Библиотека «РусАрх» – 2008.
3. Слободянюк, Т. Р. Вторичное использование строительных отходов / Т. Р. Слободянюк, О. С. Гамаюнова // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2022. – № 1. – С. 18-26. – EDN MZLOPC.
4. Перспективы утилизации и вторичного использования не утилизированных отходов стекла (стеклобоя) в дорожном строительстве / А. В. Барт, А. В. Оришев, С. В. Рудак, Ю. Г. Борисенко // Инновационная наука. – 2020. – № 12. – С. 19-21. – EDN BOGNZK.
5. Жуков, С. Ю. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений / С. Ю. Жуков // Проектирование и строительство : Сборник научных трудов 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 04–05 июня 2018 года / Ответственный редактор Н.В. Бакаева. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. – С. 61-63. – EDN XWRVGP.
7. Логанина В.И. Известковые сухие строительные смеси для реставрации и отделки зданий и сооружений: моногр. / В.И. Логанина. // Пенза: ПГУАС, 2015. – 320 с.
8. Пат. 249772 Российская Федерация, МПК С04В28/22, С04В41/65, С04В 111/27. Состав для отделки. / Королев Е.В. (RU), Логанина В.И. (RU), Макарова Л.В. (RU), Сергеева К.А. (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ») (RU). - №2012154816/03; заявл. 18.12.12; опубл.10.11.13, Бюл. №31 – 4с.
9. Aliabdo A.A. The use of crushed clay bricks in the concrete industry/ A.A. Aliabdo, M. Abd-Elmoati, H.H. Hassan // Alexandria Engineering Journal. –2014. – Vol. 53. – № 1. – pp. 151-168.
10. Goncalves J.P. Evaluation of the effectiveness of cement slurries modified with metakaolin or ground bricks / J.P. Concalves, L.M. Tovareles, R.D. Toredó Folho, E.M.R. Fairburn // Building and Building Materials. – 2009. – Vol. 23. –№ 5. – pp. 1971- 1979.
11. Liu S. The role of sintered clay brick powder in the hydration process of cement pastes / S. Liu, R. Dai, Q. Cao, Z. Gao // Iranian Science and Technology Journal. Proceedings of Civil Engineering. –2017.– Vol. 41. – № 2. – pp. 159 -165.
12. Романенко И.И. Материал на основе металлургических шлаков для укрепления дорожных оснований / И.И. Романенко, Б.В. Пилясов // Строительные материалы.– 2008.–№ 12. – С. 28-29.
13. Пробуждение гидравлической активности наполнителей и заполнителей из лома глиняного кирпича / И. И. Романенко, И. Н. Петровнина, К. А. Еличев, М. И. Романенко // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11(95). – С. 563-572. – EDN NDFRPP.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 03.02.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 03.02.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья

УДК 69.059.22

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2023_2_24

**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ
В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

© Авторы 2023
SPIN: 2407-1795
AuthorID: 270310

БАТЫРЕВ Константин Григорьевич
кандидат физико-механических наук, доцент кафедры ССМиК
Тульский государственный университет
(Россия, Тула, e-mail: konstantinbatyrev@yandex.ru)

SPIN: 6011-8919
AuthorID: 640967
ORCID: 0000-0003-4726-2203
ResearcherID: HME-0907-2023

ЧИГИНСКИЙ Дмитрий Сергеевич
кандидат технических наук, главный инженер проектов
ООО «Строительное Проектирование»
(Россия, Тула, e-mail: dmitriy@chiginskiy.ru)

Аннотация. Проведен обзор нормативного регулирования обследования технического состояния зданий и сооружений. Выполнен анализ применения технологий информационного моделирования (ТИМ / BIM-технологий) и автоматизации при обследовании технического состояния зданий и сооружений.

Указано на отсутствие единого подхода к параметризации информации о дефектах и повреждениях строительных конструкций, а также отсутствие общепринятой классификации дефектов и повреждений, что приводит к сложностям на пути широкого внедрения технологий информационного моделирования на этапе обследования.

Предложен вариант классификации дефектов и повреждений металлических строительных конструкций, а также параметризации дефектов и повреждений несущих металлических конструкций, выявленных при обследовании технического состояния зданий и сооружений, на примере Autodesk Revit с возможностью автоматизированной подготовки схем расположения дефектов и составлением дефектных ведомостей, и требований к уровням проработки. Приводятся параметры семейств дефектов информационной модели и пример реализации.

Параметризация дефектов и повреждений строительных конструкций является основой для создания систематизированной библиотеки семейств, которая может быть использована при разработке информационных моделей и документации, подготавливаемой при обследовании технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Ключевые слова: обследование зданий; металлические конструкции; строительные конструкции; дефекты и повреждения; ведомость дефектов; BIM-технологии; технологии информационного моделирования; семейства; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Батырев К.Г., Чигинский Д.С. Параметризация дефектов металлических конструкций в рамках технологии информационного моделирования при обследовании зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 24-31. doi:10.51608/26867818_2023_2_24.



Original article

PARAMETERIZATION OF DEFECTS OF METAL STRUCTURES WITHIN THE FRAMEWORK OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGY DURING INSPECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

© The Author(s) 2023

BATYREV Konstantin Grigoryevich

Candidate of Physical and Mechanical Sciences, Associate Professor of the Department
Tula State University
(Russia, Tula, e-mail: konstantinbatyrev@yandex.ru)

CHIGINSKIY Dmitry Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Chief Project Engineer
LLC "Construction Design"
(Russia, Tula, e-mail: dmitriy@chiginskiy.ru)

Abstract. A review of the regulatory regulation of the survey of the technical condition of buildings and structures is carried out. The analysis of the application of BIM and automation in the examination of the technical condition of buildings and structures is carried out.

It is pointed out that there is no unified approach to parameterization of information about defects and damages of building structures, as well as the absence of a generally accepted classification of defects and damages, which leads to difficulties in the way of widespread introduction of information modeling technologies during the survey.

A variant of classification of defects and damages of metallic building structures, as well as parameterization of defects and damages of load-bearing metal structures identified during the inspection of the technical condition of buildings and structures is proposed, using the example of Autodesk Revit with the possibility of automated preparation of defect location schemes and drawing up defect statements, and requirements for the load of development. The parameters of the families of defects of the information model and an example of implementation are given.

Parameterization of defects and damages of building structures is the basis for creating a systematized library of families, which can be used in the development of information models and documentation prepared during the inspection of the technical condition of building structures.

Keywords: structural investigations; metal structures; building structures; defects and damages; defect register; BIM technologies; building information modeling technologies; Autodesk Revit; families

For citation: Batyrev K.G., Chiginskiy D.S. Parameterization of defects of metal structures within the framework of information modeling technology during inspection of buildings and structures // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 24-31 (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_24.

Введение

С января 2022 года использование технологий информационного моделирования (ТИМ / BIM-технологий) для всех объектов капитального строительства с государственным участием становится обязательным [1-2].

При этом, в исследовании [1] отмечается, что по-прежнему препятствием к внедрению и распространению технологий информационного моделирования являются такие проблемы как недостатки системы государственных стандартов реализации проектов с применением ТИМ и недостатки нормативной базы.

Цифровая информационная модель (ЦИМ), согласно [3], – это объектно-ориентированная параметрическая трехмерная модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов.

В частности, в [3] отсутствует какое-либо упоминание цифровой информационной модели (ЦИМ), получаемой в рамках выполнения работ по обследованию технического состояния зданий и сооружений, ни в виде отдельной стадии, ни в рамках описания инженерных изысканий, реконструкции или эксплуатации.

Согласно [4] обследование зданий (сооружений) выполняется регулярно или при обнаружении значительных дефектов и повреждений (при эксплуатации), или при изменении технологического назначения здания (при реконструкции). При этом, существенный объем рассматриваемых в процессе обследования сведений и документальной информации для зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, как правило, представлен на бумажных носителях в виде разрозненных томов документации и редко в электронном виде.

Цифровая информационная модель, подготовленная на этапе обследования, может суще-



ственно отличаться от моделей, подготовленных на этапе проектирования в части типов наполняемый её данных [5], с учётом истории строительства и эксплуатации (перестройки и усиления).

В статье [6] проведён обзор исследований по теме BIM-технологий в России, рассмотрены предложения по использованию BIM при эксплуатации и обследовании зданий и сооружений и предлагается общий подход по реализации информационного моделирования для объектов обследования.

В статье 2010 года [7] отмечается, что при использовании классических методов работы (например, как предлагается в [8-10]) информация о дефектах упрощается, сжимается и обрабатывается в инженерных отчетах для удобства обозрения и принятия решений, но «вшивание» её в BIM-модель может быть крайне трудоемким и неэффективным – по крайней мере, на сегодняшнем этапе развития BIM.

В классификаторе [8] таблица включает в себя параметры: Отступления от проектных решений и нарушения требований нормативных документов; Классификация дефектов по ГОСТ 15467-79; Методы определения дефектов.

В пособии [9] привязка дефектов выполнена к способам восстановления (усиления) типов строительных конструкций зданий (сооружений) и включают в себя следующие параметры: материал и тип строительной конструкции; категория технического состояния; характер повреждения или вид разрушения; значение контролируемого параметра; требуемые мероприятия.

Рекомендации [10] фактически содержат перечисление вариантов признаков воздействий (силовых и внешней среды), которые могут свидетельствовать о состоянии конструкций.

В пособии [11] реализуется подход, заключающийся в привязке дефектов к периоду появления (проектирование, строительство, эксплуатация) и типам строительных конструкций.

В действующем ГОСТ [4] приводятся классификации дефектов в зависимости от типа конструкций и включает виды дефектов, возможные причины их появления и возможные последствия.

При этом, в [7] указано, что для достаточно большого объекта информация об имеющихся дефектах может иметь огромный объем, что как раз проявляет потенциал к систематизации информации о дефектах и исследованию способов их автоматизированной обработки.

В работах [12-13] сформулирована идея использования BIM-технологий для накопления разрозненных (фрагментарных) сведений об объекте обследования, а также предложены «BIM uses» – задачи внедрения BIM в рамках обследования и уровни проработки информационной модели LOD (Load of Development).

В работе [5] выполнена проработка схемы взаимодействия обследователя с BIM-моделью в течение всего процесса обследования от получения задания до передачи результатов проектировщику в форме BIM-модели.

В работах [14-15] авторами рассмотрены некоторые задачи накопления сведений, получаемых в процессе обследования (в составе информационной модели здания или сооружения), в части моделирования дефектов строительных конструкций и автоматизированного формирования ведомостей дефектов на основе программного комплекса Tekla Structures и Autodesk Revit.

В статье [16] приведён вариант применения BIM-технологий при обследовании промышленного здания, однако, в предложенном исполнении, реализация моделирования дефектов может быть отнесена не к информационному, а только к трёхмерному моделированию.

При этом, в настоящее время уже имеются примеры автоматизированной обработки информационной модели при обследовании зданий и сооружений, так в работе [17] представлен поэтапный алгоритм расчета остаточного ресурса с использованием визуального программирования Dynamo в Revit.

Таким образом, задачи информационного моделирования дефектов строительных конструкций зданий (сооружений) являются актуальными как в научном, так и в прикладном плане.

Методология

Целью работы является систематизация актуальных сведений и описание подхода к использованию инструментов BIM-технологий для моделирования дефектов и повреждений (далее – дефектов), выявленных при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений на примере несущих металлических конструкций.

В рамках работы были поставлены следующие задачи:

- классификация дефектов несущих металлических конструкций;
- описание параметров дефектов строительных конструкций;
- моделирование дефектов и представление дефектных ведомостей.

Для решения поставленных задач использован сравнительный метод исследования, при котором имеющиеся представления и проработанные подходы к классификации дефектов и использованию инструментов BIM-технологий для моделирования строительных конструкций зданий и сооружений, выработанные и апробированные для стадий подготовки проектной документации, переносятся, дополняются и видоизменяются.

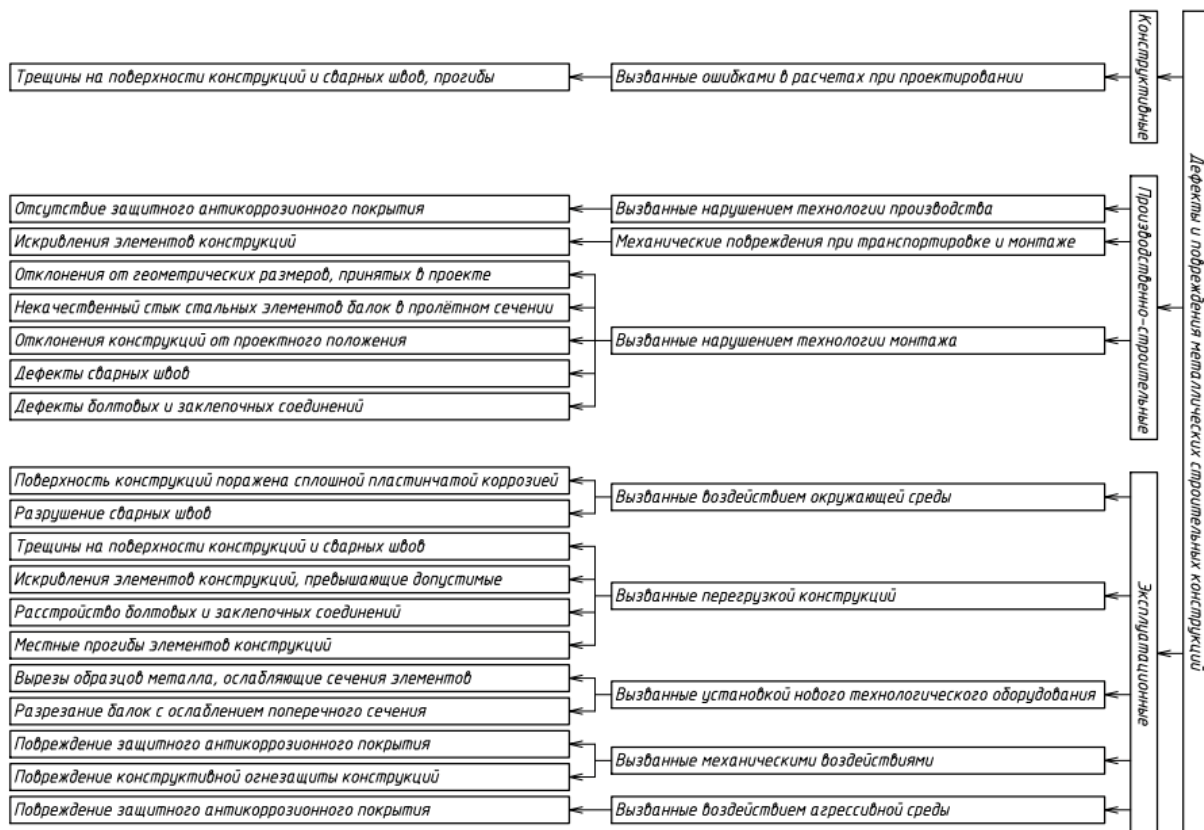


Рисунок 1 – Классификация дефектов несущих металлических конструкций

Моделирование дефектов строительных конструкций выполняется с помощью распространённого программного обеспечения Autodesk Revit 2022 посредством элементов, которые называются «Семейства», содержащих один дефект или группу дефектов и сохраняющих все их необходимые параметры. Создание семейств дефектов выполняется на основе шаблонов загружаемых семейств «Метрическая система, типовая модель» и «Метрическая система, типовая модель на основе грани». Для моделирования дефектов используется встроенный инструмент «Редактор семейств».

Результаты

Предлагается классификация дефектов и повреждений (далее – дефектов) металлических конструкций по ряду признаков. На рисунке 1 предложен вариант такой классификации, которая может быть использована для их последующего информационного моделирования.

При моделировании дефектов, семействам назначаются атрибуты, которые в свою очередь обладают определённым типом данных и подразделяются на параметры типа или параметры экземпляра (см. таблицу 1).

Тип атрибута для каждого параметра назначен в соответствии с работой [18].

В столбце «Формула» приводится формула, по которой рассчитывается данный параметр либо дается указание на то, что данные вводятся вручную. Также в таблице 1 указано какие параметры являются параметрами типа, а какие параметрами экземпляра.

Проработка дефектов строительных конструкций, с точки зрения информационного наполнения, отличается в зависимости от этапа обследования (таблица 2) и может относиться к соответствующему уровню проработки LOD.

Именование Марки осуществляется согласно следующей схеме: Д <Поле1>.<Поле2>, где: Д – дефект (сокращенно); Поле1 – тип конструкции (например, 1 – колонны, 2 – балки); Поле2 – номер по порядку дефекта или повреждения для каждой группы.

Моделирование поверхностных дефектов выполнено по аналогии со [15] и представлено на рисунке 2 в виде окна параметров типоразмера.

Для хранения специального вида параметров в Revit – «общих» параметров, может быть применён Файл общих параметров (ФОП).



Таблица 1 – Параметры дефектов несущих металлических конструкций

Описание дефекта	Наименование атрибута	Тип атрибута	Формула, единица измерения	Тип	Экземпляр
Группа: поверхностные Отсутствие защитного антикоррозионного покрытия, поверхность конструкций поражена сплошной пластинчатой коррозией с потерей металла до 1%. Повреждение защитного антикоррозионного покрытия, поверхность конструкций поражена сплошной пластинчатой коррозией с потерей металла до 1%. Повреждение конструктивной огнезащиты металлических конструкций.	Длина	Длина	Вводится, мм		+
	Ширина	Длина	Вводится, мм		+
	Толщина покрытия	Длина	Вводится, мм		+
	Площадь	Площадь	=Длина×Ширина		+
	Изменение цвета	Текст	Вводится		+
	Растрескивание	Булевый	Вводится		+
	Отслаивание	Булевый	Вводится		+
	Коррозия	Булевый	Вводится		+
	Наименование	Текст	Вводится		+
	Марка дефекта	Текст	Вводится		+
	Нормативн. документы	Текст	Вводится		+
	Методы устранения	Текст	Вводится		+
	Группа: трещины Трещины на поверхности металлических конструкций и сварных швов.	Протяженность	Длина	Вводится, мм	
Ширина раскрытия		Длина	Вводится, мм		+
Глубина		Длина	Вводится, мм		+
Наименование		Текст	Вводится		+
Марка дефекта		Текст	Вводится		+
Нормативн. документы		Текст	Вводится		+
Методы устранения		Текст	Вводится		+

Таблица 2 – Требования к уровням проработки дефектов

Элемент	Предварительное (визуальное); LOD 300	Детальное (инструментальное); LOD 400
Дефект (повреждение)	Маркировка, Положение, Наименование, Характеристики, Нормативные документы, Методы устранения	Маркировка, Положение, Наименование, Характеристики, Нормативные документы, Размеры, Площадь, Методы устранения

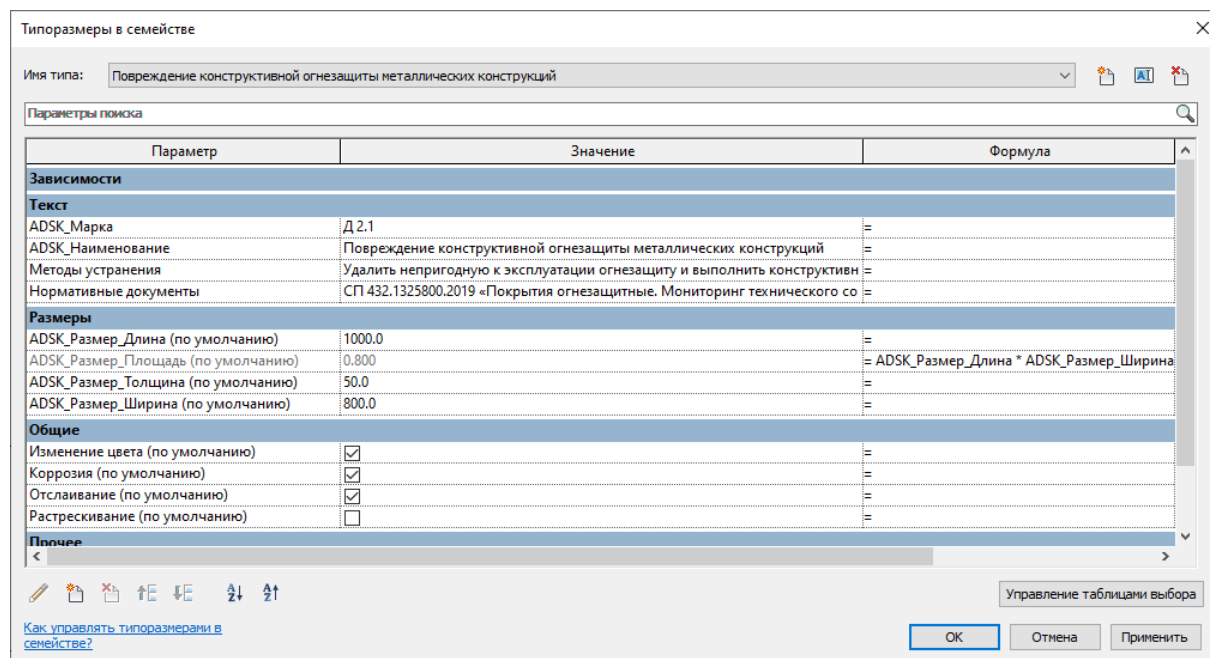


Рисунок 2 – Параметры типоразмера семейства дефектов

После информационного моделирования дефектов строительных конструкций обследуемого здания или сооружения создается дефектная ведомость. Данная ведомость, приведенная в таблице 3, составлена по информационной модели в программном комплексе Autodesk Revit.

После информационного моделирования дефектов строительных конструкций обследуемого здания или сооружения создается дефектная ведомость. Данная ведомость, приведенная в таблице 3, составлена по информационной модели в программном комплексе Autodesk Revit.



Таблица 3 – Пример оформления дефектной ведомости

Марка	Наименование	Методы устранения	Ед. изм.	Площадь
Д1.1	Повреждение конструктивной огнезащиты металлических конструкций	Удалить непригодную к эксплуатации огнезащиту и выполнить конструктивную огнезащиту оштукатуриванием цементно-песчаным раствором	м ²	Число
Д1.2	Отсутствие защитного антикоррозионного покрытия. Поверхность конструкций поражена сплошной пластинчатой коррозией с потерей металла до 1%	Выполнить мероприятия по защите стальных конструкций от коррозии в соответствии с рекомендациями	м ²	Число
Д1.3	Вырез образца металла, ослабляющий сечение элемента, с потерей сечения до 5%	Ослабленные сечения усилить стальными накладками	м ²	Число
Д1.4	Трещина на поверхности металлических конструкций и сварных швов	Конструкция подлежит замене или усилению	м ²	Число
Д1.5	Повреждение защитного антикоррозионного покрытия. Поверхность конструкций поражена сплошной пластинчатой коррозией с потерей металла до 1%.	Выполнить мероприятия по защите стальных конструкций от коррозии согласно рекомендациям	м ²	Число

Обсуждение

Инструментарий моделирования дефектов и повреждений позволяет использовать преимущества BIM-технологий при составлении карт и ведомостей дефектов, обеспечивать автоматизированную обработку результатов обследования, выполнять подсчет объемов работ по восстановлению и усилению строительных конструкций.

Необходимо отметить, что семейство в Autodesk Revit или компонент – это, как правило, цифровой аналог (двойник) физического элемента (колонны, узла, закладной детали и т.д.) [19]. Предлагаемые семейства дефектов аналогично загружаются в информационную модель для того, чтобы их отдельные экземпляры располагались вблизи или на выбранных строительных конструкциях, отмечая тем самым положение дефектов в трехмерном пространстве и на соответствующем виде.

Достоинством Autodesk Revit является гибкий подход и широкие возможности для создания и модификации загружаемых (создаваемых пользователем) семейств.

Применение Файла общих параметров (ФОП) позволяет использовать семейства, в частности дефектов, разработанные разными специалистами. При этом они будут корректно собираться в ведомостях дефектов и спецификациях. В ФОП параметры хранятся в виде текста с разделителями, запись ведётся автоматически при создании параметра в интерфейсе Revit, при этом каждый параметр имеет уникальный идентификатор параметра – Globally Unique Identifier (GUID).

Следует отметить, что инструменты для моделирования дефектов строительных конструкций имеются у всех основных комплексов для BIM-моделирования. Так если в Autodesk Revit использу-

ются Семейства, то, например, в Renga Structure – это Стили, в Graphisoft ArchiCAD – это GDL-объекты, в AVEVA PDMS/E3D Design – Каталоги, Bentley AECOSim Building Designer – Элементы, в Tekla Structures – Компоненты.

Модель здания (сооружения) с информацией о дефектах и повреждениях может быть использована для наглядного представления заказчику, смежным исполнителям и подрядчикам посредством программных комплексов типа Autodesk Navisworks и Solibri или программ визуализации моделей IFC типа BIMvision.

Можно отметить, что использование BIM-технологий при обследовании зданий и сооружений имеет потенциал для дальнейшего расширения как в нормативной части, так и в части программной реализации, а технологии информационного моделирования зданий и сооружений, кроме проектирования, обладают необходимым инструментарием для формирования моделей и обработки накопленной информации, а таблицы параметров моделируемых дефектов повышают удобство их моделирования.

Заключение

В работе выполнена систематизация сведений и составлена классификация дефектов и повреждений несущих металлических конструкций зданий и сооружений, сформулировано описание подхода к использованию инструментов BIM-технологий при моделировании дефектов и повреждениях; выполнено моделирование семейств дефектов и повреждений и предложен вариант автоматизированного составления дефектных ведомостей с помощью инструментария спецификаций Autodesk Revit 2022.

При этом предложенный вариант решения послужит основой для создания систематизирован-



ной библиотеки семейств (компонентов) дефектов и повреждений, которая может быть использована при разработке информационных моделей и документации, подготавливаемой при обследовании технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Отчёт «Результаты исследования проблем внедрения технологий информационного моделирования в инвестиционно-строительных проектах российских компаний». – М.: ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022. – URL: https://mgsu.ru/news/2022/Otchet_rez_issled_problem_TI_M.pdf (дата обращения: 14.02.2023).

2. Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства: Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026> (дата обращения: 14.02.2023).

3. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». – М.: Минстрой России, 2020.

4. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: Межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1984-ст: введен впервые: дата введения 2019-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – Текст: непосредственный.

5. Чигинский, Д. С. Применение BIM-технологий при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений / Applying BIM technologies to the survey of buildings and structures / Д. С. Чигинский, Г. В. Валеев // Материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. – с. 248–254. – DOI 10.23968/BIMAC.2021.032.

6. Мишуренко, Н. А. Состояние внедрения BIM-технологий в области обследования зданий и сооружений в России / Н. А. Мишуренко // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы V Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20–22 апреля 2022 года / Под общей редакцией А.А. Семенова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 233–238. – DOI 10.23968/BIMAC.2022.029.

7. Бауск А. Е. Менее оптимистичный взгляд на BIM // isicad.ru: электронный журнал. – URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14092 (дата обращения: 14.02.2023). – Дата публикации: 11.11.2010.

8. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов: дата введения 1993-11-17. – М.: ГОССТРОЙ России, 1993. – 95 с.

9. Пособие по практическому выявлению пригодности к восстановлению поврежденных строительных конструкций зданий и сооружений и способам их оперативного усиления. – М.: ЦНИИпромзданий, 1996. – 97 с.

10. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: ЦНИИпромзданий, 2001. – 99 с.

11. Касимов Р. Г. Дефекты и повреждения строительных конструкций, методы и приборы для их количественной и качественной оценки: Учебное пособие / Р. Г. Касимов. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 109 с. – ISBN 978-5-7410-1806-4.

12. Чигинский, Д. С. Информационное моделирование сооружений при обследовании и усилении / Д. С. Чигинский // Сборник материалов XVII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» (28-30 июня 2016 г.). – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – с. 230–231.

13. Злобин, С. Ф. Опыт применения BIM-технологий при обследовании и проектировании / С. Ф. Злобин, Д. С. Чигинский // Сборник материалов XX Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры» (28-29 июня 2019 г.). – Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. – с. 124–126.

14. Валеев, Г. В. К задаче о наполнении информационных моделей обследуемых зданий и сооружений данными о дефектах строительных конструкций / Г. В. Валеев, Д. С. Чигинский // Сборник материалов XXII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (28-29 июня 2021 г.). – Тула: Изд-во ТулГУ, 2021. – с. 45-48.

15. Валеев Г. В. Использование инструментов BIM-технологий для моделирования дефектов и повреждений, выявленных при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений / Г. В. Валеев, Д. С. Чигинский // Сборник научных трудов 17-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». – Тула-Минск-Донецк: ТулГУ, 2021. – С. 125–130. – ISBN 978-5-7679-4932-8.

16. Беркетов В. П. Применение BIM-технологий при проведении технического обследования зданий и сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Международной научно-практической конференции [15–17 мая 2019 года]; СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 2019. – URL: https://www.spbgasu.ru/upload-files/nauchinnovaz/sbornik_trudov/Материалы_II_международной_НПК_V.pdf (дата обращения: 14.02.2023). – Текст: электронный. – DOI: 10.23968/BIMAC.2019.

17. Черных, А. Г. Расчет остаточного ресурса строительных конструкций по модифицированному методу с применением средства визуального программирования Dynamo / А. Г. Черных, Д. И. Корольков, А. С. Пакина // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года / Под общей редакцией А.А. Семенова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-стро-



ительный университет, 2021. – С. 408-418. – DOI 10.23968/ВІМАС.2021.051. – URL: https://www.spbexp.ru/upload/iblock/6c4/d7x16e4y4fk49oj_2022.pdf.pdf (дата обращения: 14.02.2023).

18. Требования к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства, представляемым для проведения экспертизы / СПб ГАУ «ЦГЭ». – Санкт-Петербург, 2022. – Текст: электронный. – URL: <https://www.spbexp.ru/upload/iblock/6c4/d7x16e4y4fk49oj>

19. СП 328.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели». – М.: Минстрой России, 2020.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 21.02.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 21.02.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья

УДК 624.15

ГРНТИ 67.11.29 Основания и фундаменты, 67.13.21 Работы по устройству оснований и фундаментов. Свайные работы

ВАК 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения, 2.1.2 Основания и фундаменты,

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_2_32

УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЯ ОБЪЕКТА ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ В СЛАБЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

© Авторы 2023

SPIN 3768-7494

AuthorID: 294766

Orcid: 0000-0002-5824-9066

ГАНДЕЛЬСМАН Игорь Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Владимирский государственный университет

имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

(Россия, Владимир, e-mail: igvlsu@mail.ru)

Аннотация. В условиях плотной городской застройки при новом строительстве либо реконструкции существующих объектов в зону влияния строительных работ часто попадают существующие объекты, в том числе исторического наследия. В рассматриваемом случае реконструируемый объект культурного наследия за время эксплуатации неоднократно перестраивался, в результате чего на нем имеют место различные конструктивные решения отдельных частей здания. Дополнительную сложность придает расположение объекта на склоне, имеющем толщу насыпных грунтов различного состава, залегающих непосредственно под подошвой фундаментов, высоким уровнем грунтовых вод и длительным подтоплением подвала здания. Кроме того, при устройстве фундаментов применены различные технические решения: под частью здания – фундамент с деревянными сваями, частично утраченными за время эксплуатации, в другой – плитный фундамент. Для анализа современного состояния и определения путей реконструкции объекта составлены расчетные схемы для выполнения расчетов общей статической устойчивости, определены границы оползневой зоны склона для различных случаев и деформации основания при различных уровнях нагружения. В статье выявляются возможные риски, анализируются основные модели поведения грунтового основания с учетом негативных факторов, проводится вариантное проектирование конструктивных решений усиления основания и фундаментов – путем усиления фундаментов буроинъекционными сваями, либо проведением цементации насыпных грунтов для улучшения геотехнических свойств грунтов с низким сопротивлением. Результаты выполненных экспериментальных исследований и поверочных расчетов подчеркивают возможность обеспечения нормативной работы системы «основание-фундамент» с учетом улучшения геотехнических параметров основания. Применение результатов исследования позволяет сохранить объект исторического наследия, обеспечивает безопасность не только реконструируемого здания, но и соседних объектов, попадающих в зону влияния объекта, устойчивость склона, на котором расположен объект.

Ключевые слова: объект исторического наследия; оползневой склон; статическая устойчивость; геологическое строение; фундамент; цементация; буроинъекционные сваи

Для цитирования: Гандельсман И.А. Усиление основания объекта исторического наследия в слабых грунтовых условиях // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 32-37. doi:10.51608/26867818_2023_2_32.

Original article

STRENGTHENING THE FOUNDATION OF THE HISTORICAL HERITAGE SITE IN WEAK GROUND CONDITIONS

© The Author 2023

GANDELSMAN Igor Anatolievich

Candidate of Technical Science, Associate Professor

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

(Russia, Vladimir, e-mail: igvlsu@mail.ru)

Abstract. In conditions of dense urban development, structures including historical heritage sites during new construction or reconstruction often fall into the zone of influence of new construction. The paper considers that the reconstructed object of cultural heritage has been repeatedly rebuilt during operation, as a result, there are various structural solutions of individual parts of the building. Additional complexity is given by the location of the object on a slope having a thickness of bulk soils of various compositions lying directly under the sole of the foundations, a high level of groundwater and prolonged flooding of the basement of the building. In addition, various technical solutions were used in the construction of foundations: under part of



the building there is a foundation with wooden piles, partially lost during operation, in the other — a foundation plate. To analyze the current state and determine the ways of reconstruction of the object, calculation schemes were drawn up to perform calculations of general static stability, the boundaries of the slope landslide zone for various cases and deformation of the base at different load levels were determined. The article identifies possible risks, analyzes the main models of the behavior of the soil foundation taking into account negative factors, carries out variant design of structural solutions to strengthen the foundation and foundation structures—by strengthening the foundations with micropiles, or by fixing bulk soils to improve the geotechnical properties of soils with low resistance. The results of the conducted experimental studies and verification calculations emphasize the possibility of ensuring the regulatory operation of the base-foundation system, taking into account the improvement of the engineering and geological parameters of the foundation. The application of the research results allows preserving the object of historical heritage, ensures the safety not only of the reconstructed building, but also of neighboring objects falling into the zone of influence of the object, the stability of the slope on which the object is located.

Keywords: historical heritage site; landslide slope; static stability; geological structure; foundation; cementation; micropiles

For citation: Gandelsman I.A. Strengthening the foundation of the historical heritage site in weak ground conditions // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 32-37. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_2_32.

Введение

В настоящее время имеются многочисленные исследования, связанные с вопросами устойчивости оползневых склонов, строительстве на слабых грунтах, усилении существующих оснований и фундаментов [1-6]. При эксплуатации и реконструкции таких объектов целесообразно проводить мониторинг текущего состояния объекта, грунтового основания, выполнять динамические прогнозы надежной совместной работы системы «основание-фундамент» при изменении начальных условий их эксплуатации. Только комплексное решение указанных проблем позволяет обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию зданий и сооружений, особенно объектов исторического наследия [7].

При этом необходимо учитывать, что каждый объект имеет свои уникальные особенности, как в его конструктивном отношении, так и геологическом строении участка строительства, что вносит коррективы в расчетные схемы, а затем в конструктивные решения и технологию производства работ.

Корпус мельницы является составным элементом промышленно-производственного комплекса мельниц Башкирова и представляет собой пример производственного сооружения советского периода, характеризующийся выразительным архитектурным обликом. Исследуемый объект производственного назначения, предназначен для переработки зерна на муку (мукомольная мельница). Строительство начато в 1914 г., затем здание подвергалось неоднократной реконструкции, в результате чего оно получило два разностильных фасада, к которым добавилась бетонная встройка с южной стороны, после взрыва была демонтирована и перестроена южная стена. В настоящее время здание мельницы не эксплуатируется.

В геоморфологическом отношении участок расположен у подножия крутого правобережного оползневого склона реки Ока. Для защиты объекта от неблагоприятных воздействий с восточной нагорной стороны здания у стен организована ограждаю-

щая конструкция в виде подпорной стенки. Здание мельницы трапецеидальной формы, размерами в плане 56,99x17,32 м по наружному обмеру, шести-, семиэтажное, частично с подвалом. В части здания под первым этажом находится противопожарный водоем глубиной - 3,8м.



а)



б)

Рис. 1. Мукомольная мельница: а) фасад, б) шурф

На отметке +0,640 выполнен деревянный дренажный лоток и примерно на этом же уровне был зафиксирован уровень грунтовых вод. Предположительно, лоток служит для поддержания постоянного уровня грунтовых вод, с целью сохранения деревянных свай. На отметке -1,880 м кирпичная кладка заканчивается, далее идет монолитная железобетонная плита высотой 1,5 м.

Таким образом, на объекте применены фундаменты разного типа под разными частями здания. Актуальным является вопрос об обеспечении их совместной работы.

В результате исследования установлено, что под подошвой залегают насыпные грунты в виде разнородных кварцевых песков, местами с примесью суглинка, с включением строительного мусора, угольного шлама, местами с глиной слабозаторфованной.

Результаты

Результаты поверочных расчетов показали, что давление под подошвой фундамента на отдельных участках в 1,4-8,3 раза превышает расчетное сопротивление грунта основания (80 кПа). Абсолютная осадка незначительно (на 1%) превышает допустимые расчетные значения. На остальных участках давление под подошвой фундамента не превышает расчетного сопротивления грунта основания, осадки не превышают предельно допустимых значений. абсолютная осадка незначительно (на 1%) превышает допустимые расчетные значения.

тами методом конечных элементов с использованием метода снижения прочностных характеристик. Существенным преимуществом метода снижения прочности по сравнению с методами предельного равновесия является то, что поверхность скольжения и коэффициент устойчивости определяются одновременно в процессе расчета. Из расчетов, выполненных методом SRM, следует, что устойчивость склона не обеспечивается. Необходимо предусмотреть альтернативные мероприятия по обеспечению безопасности зданий и сооружений, попадающих в оползневую зону.

Обсуждение

Выбор метода усиления грунтов основания определяется, в первую очередь, особенностями инженерно-геологических условий, расположением площадки, требованиями технического задания, а также экономическим фактором. Для устройства закрепленных массивов (усиленного основания) в рассматриваемых условиях применимы следующие методы: инъекционный, осуществляемый путем нагнетания в грунт химических или цементационных растворов с помощью инъекторов или в скважины [15-17] (смолизация, силикатизация, цементация); буромесительный (путем разработки и перемешивания грунта с цементом или цементными растворами в скважинах); струйная технология [5, 13], заключающаяся в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора или воды с воздушным потоком для разрушения и одновременного переме-

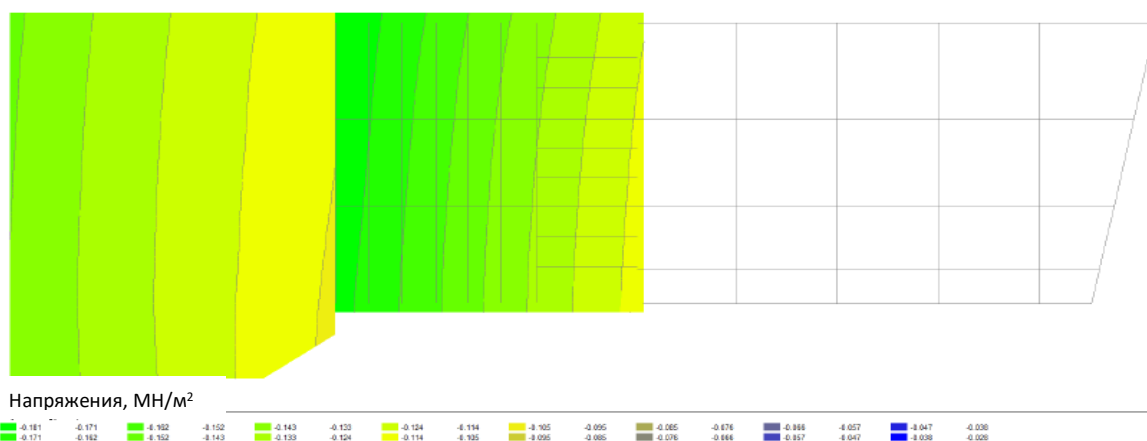


Рис. 3. Поля напряжений в фундаментной плите от расчетного сочетания нагрузок

Полученные результаты говорят о необходимости усиления оснований и(или) фундаментов.

Нахождение коэффициента устойчивости склона [8-14] производится как с использованием традиционных методов теории предельного равновесия (с разбиением призмы оползания на отсеки или без него), так и упругопластическими расче-

шивания грунта с цементным раствором; усиление фундаментов буроинъекционными сваями [18-20].

Применение буромесительной и струйной технологии в данных условиях с большим объемом усиливаемого грунта и тесненными условиями производства работ экономически нецелесообразно.

Для усиления грунтов основания фундаментов в данных инженерно- геологических и гидрогео-



логических условиях применимы преимущественно инъекционные методы усиления, либо устройство буроинъекционных свай.

Такие инъекционные методы закрепления грунтов как силикатизация, смолизация, щелочезация и битумизация, малоэффективны в водонасыщенных грунтах из-за возможного частичного разжижения реагента при нагнетании в водонасыщенные грунты, требуют значительных вложений денежных средств и, в зависимости от применяемых реагентов, экологически небезопасны. Учитывая указанные обстоятельства, для выполнения усиления наиболее приемлемым методом является цементация грунтов инъекцией в режиме гидроразрывов (усиление грунтов основания сооружений путем образования локально направленных гидроразрывов, заполняемых твердеющим раствором).

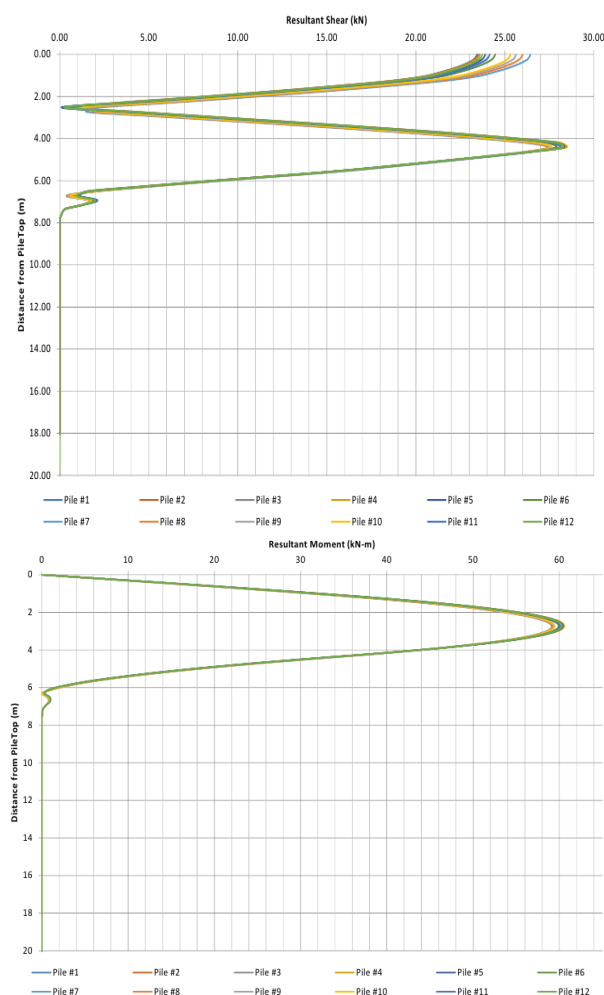


Рис. 4. Результаты структурного анализа

При этом в грунтах основания фундаментов создается своеобразный армирующий каркас из линз и прослоев затвердевшего цементного раствора, при этом грунт, заключенный в пространственном каркасе, доуплотняется с отжимом поровой воды из зоны усиления, в результате чего увели-

чивается несущая способность грунтов основания. Метод не требует дорогостоящих материалов, достаточно прост в технологическом отношении и апробирован на многих объектах разных областей в условиях, аналогичных грунтовым условиям площадки расположения здания.

На основании экспериментальных данных и материалов предварительного анализа предложены параметры усиления. Рецептуры твердеющего раствора для инъектирования (3 вида) различались содержанием воды 0,6-1,0 части для получения оптимального состава для данных грунтовых условий.

Раствор в зону усиления нагнетается нисходящими зонами, отдельными заходками с шагом через 0,5...1,0 м. Водоцементное отношение в растворе для получения его необходимой подвижности устанавливается при инъектировании в зависимости от качества и состояния составляющих компонентов и уточняется при пробном (контрольном) нагнетании.

В качестве альтернативы возможно для данного объекта применение буроинъекционных свай для передачи нагрузки от здания не на насыпные грунты, а на подстилающие более прочные слои основания. Буроинъекционные сваи располагаются вертикально, не оказывают негативного разрушительного воздействия на близлежащие объекты и обеспечивают надежную эксплуатацию фундамента на долгие годы. В рассматриваемом случае, буроинъекционные сваи имеют максимальное сопротивление сдвигу 73,3 кН, обладают максимальным моментом упругости 2,6 кНм. В результате проведенных расчетов на участке А следует выбирать сваи длиной не менее 4 м, на участке В – 7 м. Результаты расчетов подтверждены проверкой в GGU-AxPile.

Выводы

По результатам исследований объекта исторического наследия можно сделать следующие выводы:

1. Для сохранения объекта необходимо комплексное решение, включающее обеспечение устойчивости склона, организацию стока поверхностных вод, решение проблемы передачи нагрузки со здания на прочные слои фундамента, восстановления поврежденных элементов строительных конструкций.
2. Рассмотрев возможности использования различных решений для преобладающих условий объекта исторического наследия, был сделан вывод о возможности использования цементации и буроинъекционных свай.
3. При сложившихся условиях для автора более перспективным видится применение буроинъекционных свай, для которых определены их параметры, рассчитана несущая способность, технология производства работ.



Библиографический список

1. Опыт закрепления структурно-неустойчивых грунтов цементацией / А. М. Голованов, В. И. Пашков, Г. А. Рево [и др.] // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 59-67. – EDN RAFVJR.
2. Самарин, Е. Н. Современные инъекционные материалы и их использование для улучшения свойств грунтов / Е. Н. Самарин // Геотехника. – 2012. – № 4. – С. 4-12. – EDN PLRСТР.
3. Харченко, И. Я. Комбинированная цементация грунтов при освоении подземного пространства в условиях плотной городской застройки / И. Я. Харченко, С. В. Алексеев // Метро и тоннели. – 2013. – № 5. – С. 18-20. – EDN UDOSEZ.
4. Liu Q., Liu G.H., Chong L.H. Variation in soil bulk density and hydraulic conductivity within a quasi-circular vegetation patch and bare soil area// Journal of Soils and Sediments. -2020. -Vol. 20. -Pp. 1-12. 20
5. Ter-Martirosyan A., Angelo G., Yermoshina L. The comparative analysis of methods for determining the mechanical performance of macrofragmental soils//E3S Web of Conferences. -2022. -Vol. 363(3). -02014. 21
6. Cheng G.Z., Hong H.W. at al. Experimental investigation of consolidation properties of nano-bentonite mixed clayey soil/ / Sustainability. -2020. -Vol. 12(2). -459. 23
7. Научно-техническое сопровождение реконструкции объекта "Мавзолей В.И. Ленина на Красной площади" в части усиления грунтов основания / В. А. Ильичев, Н. С. Никифорова, И. Я. Харченко, В. В. Дмитриев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 1. – С. 2-7. – EDN TNJOHR.
8. Ter-Martirosyan, Z. Creep of Clayey Soil with Kinematic Shear, Taking into Account Internal Friction, Adhesion and Viscous Resistance / Z. Ter-Martirosyan, A. Ter-Martirosyan, L. Ermoshina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : XXVIII R-P-S Seminar 2019, Zilina, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 661. – Zilina: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012095. – DOI 10.1088/1757-899X/661/1/012095. – EDN RSBLLH.
9. Ильичев, В. А. Расчет грунтоцементного массива для снижения перемещения ограждения методом оптимального проектирования / В. А. Ильичев, Ю. А. Готман // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 4. – С. 24-31. – EDN SKAOPR.
10. Постоев, Г. П. Особенности механизма формирования предельного состояния оползнеопасного массива и смещения оползневого блока / Г. П. Постоев // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 2. – С. 13-20. – DOI 10.31857/S0869-78092019213-20. – EDN IIQPSO.
11. Bishop A.W., Morgenstern N.R. Stability coefficient for earth slopes// Geotechnique. -1960. -No. 10(4). -Pp. 129–150.
12. Morgenstern N.R., Price V.E. The analysis of stability of general slip surfaces// The institution of civil engineers. -1965. -No.15. -Pp. 79–93.
13. Hwan A.P. A Possible model of a landslide// Construction and technogenic safety. -2006. No. -15-16. -Pp. 55–56.
14. Wu L.Z., Li S.H., et al. A new grey prediction model and its application to predicting land slide displacement// Applied Soft Computing. -2020.-Vol. 95. -Pp. 257–269.
15. Comina C., Mandrone G., Arato A. at al. Preliminary analyses of an innovative soil improving system by sand/gravel injections–Geotechnical and geophysical characterization of a first test site// Engineering Geology. -2021. -Vol. 293. -106278.
16. Mangushev R., Osokin A., Diakonov I., Kalach F. Constructive and technological solutions for underground space safety amidst dense historical buildings and weak foundation soils// E3S Web of Conferences. -2023. -Vol. 371, -02002
17. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов. М.: Стройиздат. - 2010.
18. Ponomaryov A., Sychkina E. Effect of clay compaction around driven pile and prediction of pile settlement // E3S Web of Conferences. -2022.-Vol. 363(7).- 02016.
19. Обоснование применения анкерных микросвай как сжимаемых элементов в составе фундаментов при реконструкции и новом строительстве / М. Б. Мариничев, П. А. Ляшенко, В. В. Денисенко [и др.] // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10, № 1. – С. 11-15. – DOI 10.29039/2308-0191-2021-10-1-11-15. – EDN NNMRZR.
20. Смоленков, В. Ю. Использование микросвай при ремонте набережных / В. Ю. Смоленков // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 8(10). – С. 9-11. – EDN MZJCJR.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 28.04.2023; одобрена после рецензирования 25.05.2023; принята к публикации 25.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 28.04.2023; approved after reviewing 25.05.2023; accepted for publication 25.05.2023.



Научная статья

УДК 691 + 69.003

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия; 06.71.05: Экономика строительства

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2023_2_38

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ НОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ

© Авторы 2023

SPIN: 9373-0609

AuthorID: 655165

ORCID: 0000-0002-1966-1250

ЕРМОЛИНА Лилия Валерьевна

кандидат экономических наук, доцент, кафедра «Прикладной менеджмент»

*Самарский государственный экономический университет
(Россия, Самара, e-mail: ermolina@mail.ru)*

SPIN: 9496-4605

AuthorID: 736247

ПРОНИНА Наталья Николаевна

кандидат экономических наук, доцент, преподаватель

*Колледж Самарского государственного технического университета
(Россия, Самара, pronina_natalya@mail.ru)*

SPIN: 9496-4605

AuthorID: 736247

ORCID: 0000-0003-2556-0824

МЕЛЬНИКОВА Дарья Александровна

кандидат технических наук, доцент кафедры "Автоматизация

и управление технологическими процессами", заместитель директора
Института автоматизации и информационных технологий
*Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара, e-mail: melnikovada1988@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрена динамика развития промышленности строительных материалов в условиях высокого уровня неопределенности и риска в силу перманентного напряжённого положения в российской экономике на фоне базовых макроэкономических показателей, формирующих понимание общей социально-экономической ситуации в стране.

Произведён выборочный статистический анализ промышленности строительных материалов Российской Федерации на базе официальных статистических данных Росстата о динамике, объёмах производства основных строительных материалов, объёме импорта отдельных видов товаров и продукции для строительной деятельности, об уровне использования производственных мощностей организаций по выпуску отдельных видов продукции для строительной деятельности.

Определена необходимость структурной перестройки промышленности строительных материалов с масштабными процессами в области импортозамещения, технологического развития, повышения эффективности и формирования новых деловых связей с хозяйствующими субъектами из дружественных экономик в совокупности с успешными инициативами на всех уровнях хозяйственной деятельности России.

Ключевые слова: строительная отрасль; строительные материалы; промышленность строительных материалов; импортозамещение; экономика строительства; макроэкономическое состояние

Для цитирования: Ермолина Л.В., Пронина Н.Н., Мельникова Д.А. Промышленность строительных материалов в условиях новой экономической реальности// Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 38-44. doi:10.51608/26867818_2023_2_38.



Original article

THE BUILDING MATERIALS' MANUFACTURING IN THE NEW ECONOMIC REALITY

© The Author(s) 2023

ERMOLINA Liliya Valerievna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Applied Management

Samara State Economic University

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

PRONINA Natalya Nikolaevna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Lecturer

College of Samara State Technical University

(Russia, Samara, pronina_natalya@mail.ru)

MELNIKOVA Daria Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department

"Automation and Control of Technological Processes", Deputy Director

of the Institute of Automation and Information Technologies

Samara State Technical University

(Russia, Samara, e-mail: melnikovada1988@mail.ru)

Abstract. The article considers the dynamics of the development of the building materials' industry under conditions of high level of uncertainty and risk due to permanent tension in the Russian economy against the background of basic macroeconomic indicators that form an understanding of the overall social-economic condition in the country.

Selected statistical analysis of the building materials industry of the Russian Federation was based on official statistical data of Rosstat on the dynamics, production volumes of basic building materials, volume of imports of certain types of goods and products for construction activities. Dataset also included the level of use of organisations' production capacities for the manufacturing of certain type products for construction activities.

The paper determined the necessity of restructuring the industry of building materials with large-scale processes in the field of import substitution and technological development; there is also the necessity to increase efficiency and form new business ties with friendly economies in conjunction with successful initiatives at all levels of Russian economic activity.

Keywords: construction industry; building materials; manufacturing of building materials; import substitution; construction economy; macroeconomic state

For citation: Ermolina L.V., Pronina N.N., Melnikova D.A. The building materials' manufacturing in the new economic reality // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 38-44. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_38.

За последние годы в Российской Федерации влияние ряда деструктивных факторов (от пандемии COVID-19 до санкционного давления недружественных стран) сформировало перманентное напряжённое положение в экономике и в экономике строительства в частности. Надо отдать должное, «отечественная экономика демонстрирует активные попытки преодолеть обозначенные явления, компенсировать их, минимизировать потери» [1], но сгладить их в полной объёме не обладает возможностью. Это порождает снижение деловой активности субъектов предпринимательской деятельности, падение спроса домохозяйств, что априори влечет за собой повышение уровня неопределенности и рисков в рассматриваемом в данной статье строительном секторе.

В рамках данной работы рассмотрим базовые макроэкономические показатели, формирующие по-

нимание общей социально-экономической ситуации в стране. Далее проанализируем динамику выпуска основных видов строительных материалов, изделий и конструкций, что даст характеристику состояния промышленности строительных материалов. Данный комплексный подход даст возможность сформировать объективную картину по текущему состоянию российской строительной отрасли и вывести прогнозы по его развитию в ближайшей перспективе.

Результаты исследования и их обсуждение

Общепризнанно – строительная отрасль одна из ключевых сфер экономической деятельности, которые детерминируют решение социально-политических вопросов в российском обществе.

Исследователи считают [2] строительство «одним из локомотивов российской экономики»,



обеспечивающее «наиболее высокий мультипликативный эффект в экономике государства», прежде всего, «в экономической составляющей муниципальных образований и регионов», за счёт увеличения объемов производства строительных материалов и изделий, финансирования ЖКХ, количественного и качественного развития улично-дорожной сети, роста продаж инженерных систем и оборудования, мебели, бытовой техники и др.

Данная установка закреплена в Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года [3], декларирующей демографический рост и повышение качества жизни населения в прямой связке с повышением уровня доступности безопасного и комфортного жилья.

Наряду с вышеуказанным, Т.А. Сапунова выделяет промышленность строительных материалов, оказывающую «значительное влияние на экономику государства» [4].

Объективную оценку состояния и перспективных планов строительной отрасли и промышленности строительных материалов, как его составной части, поможет сформировать анализ макроэкономических показателей.

На текущий момент Росстат¹ представил первую официальную оценку ВВП за 2022 год [5]: номинальный объем ВВП в 2022 году составил 151 455,6 млрд руб.; индекс его физического объема относительно 2021 года – 97,9%; индекс-дефлятор – 114,3%.

Стоит отдельно отметить: сокращение физического объема российского ВВП в пандемийном 2020 году составило 2,7%, а в год мирового финансового кризиса (2009) – 7,8%.

Таким образом, снижение ВВП России составило -2,1%. Росстат выделяет отрасли, существенно повлиявшие на падение ВВП в 2022 году:

- оптовая и розничная торговля (минус 12,7%);
- водоснабжение и водоотведение (минус 6,8%);
- деятельность домашних хозяйств (минус 6%);
- обрабатывающие производства (минус 2,4%);
- транспортировка и хранение (минус 1,8%).

Индекс-дефлятор ВВП вырос на 14,3%, на что повлиял ряд факторов, укажем те, которые наиболее актуальны в рамках нашего исследования: рост цен на недвижимость на вторичном рынке жилья; рост цен на строительные материалы; рост тарифов на грузовые перевозки и нарушение логистики в поставках продукции из-за санкций недружественных экономик.

¹ Здесь и далее по тексту данные Росстата взяты авторами из официального сайта организации.

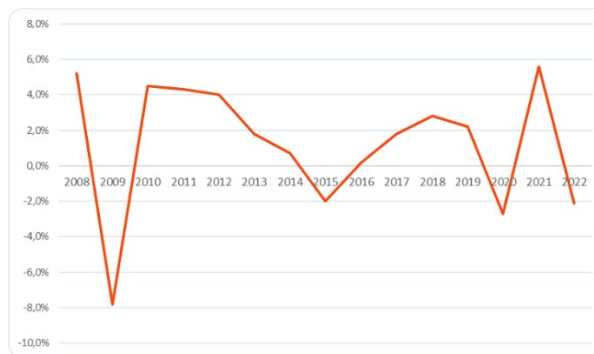


Рис. 1. Динамика физического объема ВВП России, % к предыдущему году [6]

Наиболее сильными движителями роста стали отрасли экономики ориентированные на внутренний спрос: сельское хозяйство (+6,6%); строительный сектор (+5%); гостиницы и общепит (+4,3%); госуправление, соцобеспечение и обеспечение военной безопасности (+4,1%).

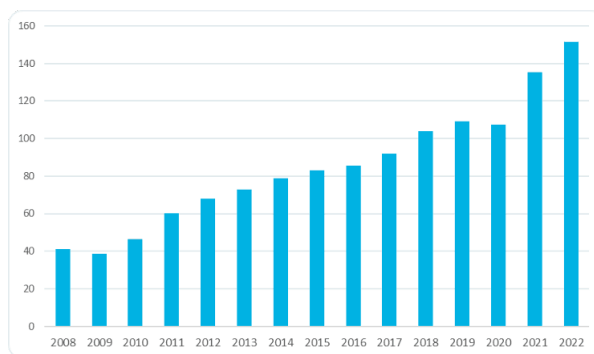


Рис. 2. ВВП России (в текущих ценах), трлн руб. [6]

Росстат отмечает значительные положительные изменения по итогам 2022 г. в строительной отрасли: введено в эксплуатацию 102,7 млн м² жилья (на 11% выше аналогичного показателя за 2021 год). К тому же, за счет оптимальных процентных ставок по кредитам в 2022 г. выдано ипотечных кредитов 697 млрд руб.

Прогнозы динамики ВВП на 2023 год по состоянию на апрель текущего года²:

- ЦБ России показал рост в пределах 0,5-2%;
- МВФ рост до 0,7%;
- Минэкономразвития РФ рост на 1,2%;
- Всемирный банк сокращение на 0,2%.

Инфляция – еще один показательный макроэкономический индикатор. По данным Росстата по итогам 2022 года она составила 11,94% после 8,39% в 2021 году. Стоит напомнить, что в 2016 году рост цен был на уровне 5,4%, в 2017 – 2,5%, в 2018 году – 4,3%, в 2019 году – 3,0%, в 2020 году – 4,9%.

² Данные взяты авторами из открытых источников в Интернет.



По данным апрельского макроэкономического опроса Банка России, прогноз аналитиков по инфляции на конец 2023 г. составил 5,9% (-0,1 п.п. к марту). Согласно опросу агентства Интерфакс, в марте консенсус-прогноз аналитиков по инфляции на конец 2023 г. составил 6,2% (без изменений к февралю) [7].

Размер среднемесячной номинальной заработной платы в целом по российской экономике также интересен в рамках искомой работы. По данным Росстата на апрель в феврале 2023 года она равнялась 65094 руб., в феврале 2022 – 57344, в феврале 2021 – 51229 руб. [8].

Размер среднемесячной номинальной заработной платы в строительстве имеет такую динамику: 2017 год – 33678 руб., 2020 – 44738 руб., 2021 – 51944 руб., 2022 – 59970 руб. [9]. По данным ресурса zarplan.com средняя зарплата для вакансии «рабочий (строительство)» в России на апрель 2023 года равна 57 118 руб., а медианная – 51000 руб. [10].

Представленная динамика макроэкономических показателей на апрель 2023 года демонстрируют в целом положительную картину, т.к. снижение показателей национальной экономики за период 2021-2022 годов не столь резкое как прогнозировалось экспертами. Наряду с этим, объективный подход в оценке российской строительной отрасли свидетельствует о том, что отрасль явно находится на распутье – от государства строителям исходят противоречивые сигналы: с одной стороны, принимается Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ до 2030 года с огромным декларируемым бюджетом и радужными посылами, а с другой – не представляет застройщикам работоспособный финансовый инструмент для системных инвестиций, одновременно выступая против льготных ипотечных инструментов. Данную гипотезу подтверждает значительное замедление продаж жилья в новостройках с начала 2023 года, несмотря на действие госпрограмм поддержки ипотечного кредитования, и отложение на неопределенное время старта новых проектов. Все это автоматически ведет к торможению работы промышленности стройматериалов.

Рассмотрим производство основных видов строительных материалов в РФ. Исследователи отмечают [1-2, 11-13]: за последние годы российская промышленность строительных материалов снизила темпы роста из-за влияния комплекса внутренних факторов (снижение уровня реальных доходов, низкий уровень качества производимой продукции в сравнении с зарубежными аналогами, моральный и физический износ производственного оборудования

и др.) и внешних (санкционные ограничения, например, повлекшие нарушения договорных отношений с поставщиками импортного оборудования).

Предметный анализ данных Росстата по производственным показателям промышленности строительных материалов (см. таблицы 1-3) дает возможность взвешенной оценки сложившейся ситуации.

Таблица 1 – Выпуск основных видов строительных материалов, изделий и конструкций за январь-декабрь 2022 года (выборочно)

	Наименование	2022	% к 2021
1	Бетон готовый к заливке (товарный бетон), млн куб. м	534	109
2	Кирпич керамический неогнеупорный строительный, млн усл. кирпичей	5572	106,4
3	Пески природные, млн куб. м	340	105,4
4	Плиты из цемента, бетона, искусственного камня, млн кв. м	41,1	102,3
5	Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные цементы, млн т	60,7	101,7
6	Блоки и прочие изделия сборные строительные, млн куб. м	26,5	101,1
7	Кирпич строительный (включая камни) из цемента, бетона или искусственного камня, млн усл. кирпичей	2232	99,1
8	Двери и их коробки деревянные, млн кв. м	20,6	95,7
9	Материалы и изделия минеральные, теплоизоляционные, млн куб. м	46,8	93,2
10	Окна и их коробки деревянные, тыс. кв. м	436	93,2
11	Плиты древесностружечные, млн усл. куб. м	10,3	89,5
12	Плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен, млн кв. м	65,8	88,5
13	Блоки стеновые силикатные, млн усл. кирпичей	4689	88,3
14	Материалы рулонные кровельные, млн кв. м	433	88,1
15	Обои, млн усл. кусков	152	78,8
16	Фанера, тыс. куб. м	3241	71,2
17	Стекло листовое литое, прокатное, тянутое или выдувное, но не обработанное другим способом, млн кв. м	49,2	57,2

В апреле 2023 года стали доступны для изучения первые данные по итогам работы российской строиндустрии за 2022 год. Авторы исходя из открытых данных Росстата, Российского союза строителей³ (далее РСС) сформировали выборку по объему вы-

³ Общероссийское межотраслевое объединение работодателей «Российский союз строителей». Официальный сайт <https://omorrss.ru/>



пуска 17 основных видов строительных материалов, изделий и конструкций за 2022 год и соотношение в процентах к объемам за 2021 год (см. таблицу 1). По большей части видов строительных материалов данные Росстата свидетельствуют о заметном снижении объемов и, в первую очередь, это касается производств со сложным уровнем переработки продукции, в отличие, от показавших небольшой прирост, добычи природного песка или выработки товарного бетона.

Интернет проект «Единый ресурс застройщиков» со ссылкой на РСС заявляет о среднем снижении объемов выпуска за 2022 год по 25 основным видам на 7,3% ниже уровня 2021 года, отдельно фиксируя ухудшение показателя в сравнении с итогами за 11 месяцев - 6,5% [14].

Таблица 2 – Выпуск основных видов стройматериалов, изделий и конструкций за январь-февраль 2023 года (выборочно)

	Наименование	01-02. 2023	% к 2022
1	Бетон готовый к заливке (товарный бетон), млн куб. м	5,5	106,2
2	Пески природные, млн куб. м	24,9	106,1
3	Плиты из цемента, бетона, искусственного камня, млн кв. м	2,4	95,9
4	Блоки и прочие изделия сборные строительные, млн куб. м	3,3	95,5
5	Кирпич керамический неогнеупорный строительный, млн усл. кирпичей	3,3	95,4
6	Двери и их коробки деревянные, тыс. кв. м	2863	92,8
7	Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные цементы, млн т	5,8	90,9
8	Обои, млн усл. кусков	20,9	86,8
9	Плиты древесностружечные, тыс. усл. куб. м	1624	86,2
10	Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные, млн кв. м	49,6	85,4
11	Изделия санитарно-технические из керамики, млн шт.	2,1	84,0
12	Кирпич строительный (включая камни) из цемента, бетона или искусственного камня, млн усл. кирпичей	239,9	81,2
13	Блоки стеновые силикатные, млн усл. кирпичей	517	69,1
14	Окна и их коробки деревянные, тыс. кв. м	36,0	64,3
15	Фанера, тыс. куб. м	448	63,5
16	Стекло листовое литое, прокатное, тянутое или выдувное, но не обработанное другим способом, млн кв. м	6,4	60,8
17	Плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен, млн кв. м	6,5	56,1

Динамика развития событий в промышленности за январь-февраль 2023 года (данные Росстата и РСС) констатируют о продолжающемся снижении объемов выпуска продукции (см. таблицу 2), опять же за исключением товарного бетона и природного песка. «Единый ресурс застройщиков» [14] пишет о сокращении объемов по 25 видам основной продукции почти на 16%.

Участники рынка в декабре 2022 года высказали такие ожидания на грядущий год [15]: генеральный директор «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» В. Шматов заявляет о снижении спада потребления из-за пессимизма в строительной отрасли и снижении выпуска объемов продукции, но надеется на запас прочности в отрасли до момента наступления положительных сдвигов в потребительском спросе на жилье и выделения господдержки; директор Ассоциации производителей керамических материалов А. Попов считает, что падение спроса в 2023 году будет продолжаться до июля-августа, после чего ожидает возможной положительной динамики за счёт увеличения доли индивидуального жилищного строительства.

Для достоверности восприятия информации авторы вывели объемы выпуска ряда основных видов продукции промышленности стройматериалов с 2017 года в таблицу 3 и объема импорта отдельных видов товаров и продукции для строительной деятельности с 2015 по 2021 годы в таблицу 4.

По мнению Т. Сапуновой в российской промышленности стройматериалов за последние годы «произошло значительное снижение темпа роста», а приводимая Росстатом «динамика свидетельствует о том, что даже без воздействия на рынок новых пакетов санкций, ситуация уже сводится к отсутствию высоких темпов роста» [4].

Для устойчивости строительной отрасли России критически важно импортозамещение строительных материалов. События политического характера 2014-2022 годов четко обозначили высокий уровень зависимости российской стройиндустрии от импорта из недружественных стран.

На начало 2014 г. доля импорта в строительной отрасли по разным товарным группам составляла от 50 до 90%, по стройматериалам – от 70 до 90% по разным видам товаров [17], к 2018 г. долю импортных строительных материалов в массовом сегменте снизили до 20%, в бизнес-строительстве и премиум-сегменте – оставалась выше 50% [18].

К текущему моменту ряд авторов [11] отмечают наличие четко выраженной позитивной динамики в импортозамещении строительных материалов: в сегменте массового строительства доля импорта снижена до 4%, в бизнес-строительстве – до 20-30%, а в премиум-сегменте – 30-40%.



Таблица 3 – Производство отдельных видов продукции для строительной деятельности с 2017 по 2022 годы⁴

	Наименование	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	Кирпич строительный (включая камни) из цемента, бетона или искусственного камня, млрд усл. кирпичей	2,5	2,38	2,43	2,18	2,25	2,43
2	Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные цементы, млн т	54,7	53,7	57,7	56,2	59,7	60,7
3	Пески природные, млн куб. м	267	282	274	270	322	340
4	Двери, их коробки и пороги деревянные, млн кв. м	12	13	14,3	16,6	19,6	16,6
5	Стекло листовое литое, прокатное, тянутое или выдувное, но не обработанное другим способом, млн кв. м	110	111	114	101	85,9	49,2
6	Окна и их коробки деревянные, тыс. кв. м	661	619	522	456	468	436
7	Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные, млн кв. м	460	449	442	469	492	433

Таблица 4 – Импорт в РФ отдельных видов товаров и продукции для строительной деятельности с 2015 по 2021 годы⁴

	Наименование	2015	2017	2018	2019	2020	2021
1	Галька, гравий, щебень или дроблённый камень, млн. т	13,1	15,3	11,6	8,9	7,9	6,9
2	Портландцемент, цементы и клинкеры, млн. т	2,99	1,99	1,5	1,4	1,4	1,76
3	Обои и аналогичные настенные покрытия, тыс. т	47,6	51,4	49	38,4	33,6	32,4
4	Линолеум, тыс. кв. м	321	420	321	266	318	535
5	Раковины, умывальники, ванны, биде, унитазы и прочие из керамики, млн. шт.	2,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9
6	Черепица из керамики, млн. шт.	7,9	6,2	5,9	4,5	5,2	5,8
7	Кирпичи строительные из керамики, млн. шт.	651	680	154	84,1	66,7	578

Для примера, рассмотрим влияние объёма импорта цемента (и аналогов) на российских производителей (см. табл. 4). Статистические данные по-

⁴ Таблицы 3-5 составлены авторами по источнику [16].

казывают среднегодовой объём импорта данного вида строительного материала в 2,5-3% от объёмов российского производства, что вряд ли существенно влияет на ситуации в целом. Исключение – приграничные регионы и строительство сложных объектов с высокими требованиями к качеству цемента и производной продукции.

Таблица 5 – Уровень использования производственных мощностей организаций по выпуску отдельных видов продукции для строительной деятельности (в процентах) с 2017 по 2021 годы⁴

	Наименование	2017	2018	2019	2020	2021
1	Пески природные	52,9	52,6	50,8	52,6	57,3
2	Окна и их коробки деревянные	27,8	29,0	19,2	16,1	17,3
3	Двери, их коробки и пороги деревянные	43,7	35,7	47,9	44,8	49,7
4	Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные гидравлические цементы	52,3	52,0	53,6	54,6	58,9
5	Кирпич строительный (включая камни) из цемента, бетона или искусственного камня	35,9	36,3	37,8	36,4	37,4
6	Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные	55,6	55,8	59,5	58,8	60,6

Помимо этого, российский рынок торговли строительных материалов остаётся в начальной стадии формирования, его темпы ежегодного развития и прироста объёмов не имеют явного повышательного тренда для вывода промышленности строительных материалов на должный уровень. Производители российских стройматериалов не готовы для корректировки своей деятельности под реалии социально-экономической ситуации в стране, требующей обеспечения потребностей как домохозяйств, так и коммерческих объектов недорогими и, что немаловажно, качественными строительными материалами. И данные Росстата приведенные в таблицах 2 и 5 подтверждают данное предположение.

Для промышленности стройматериалов более важным условием является не уменьшение объёмов импорта самих строительных материалов, а факт бесперебойных поставок импортного строительного оборудования, машин и механизмов и сырья для производства стройматериалов, либо, что стратегически целесообразнее, ускорения темпов их эффективного импортозамещения.

Заключение

В условиях беспрецедентной геополитической напряженности российская строительная индустрия



стрия и промышленность стройматериалов вошли в 2023 год. Непрерывающееся санкционное давление и геополитические ограничения выработали для российской экономики ряд значимых факторов экономических изменений. Для строительной отрасли наиболее болезненны стали ограничения в банковском секторе и комплексное нарушение логистики поставок по широкому спектру позиций импорта.

В этой связи промышленности строительных материалов необходима структурная перестройка с масштабными процессами открывает в области импортозамещения, технологического развития, повышения эффективности и формирования новых деловых связей с хозяйствующими субъектами из дружественных экономик в совокупности с успешными инициативами на всех уровнях хозяйственной деятельности России.

Библиографический список

1. Мавлютов, Р. Р. Строительный комплекс в условиях новой экономической реальности / Р. Р. Мавлютов, М. К. Беляев // Управленческий учет. – 2022. – № 11-3. – С. 803-811. – DOI 10.25806/uu11-32022803-811. – EDN ZSFRZN.

2. Анпилов, С. М. О стратегии развития строительной отрасли РФ (часть I) / С. М. Анпилов, А. Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. – 2019. – № 1(1). – С. 7-15. – DOI 10.24411/2686-7818-2019-00011. – EDN TSACKW.

3. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года / Распоряжение Правительства РФ №3268-р от 31 октября 2022 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf>

4. Сапунова, Т. А. Исследование и определение тенденций развития рынка строительных материалов в Российской Федерации / Т. А. Сапунова // Естественно-гуманитарные исследования. – 2023. – № 45(1). – С. 214-216. – EDN BDIXCM.

5. Федеральная служба государственной статистики. Официальный сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/>

6. Итоги 2022 года: Росстат дал первую оценку ВВП за прошлый год // Открытый журнал. URL: <https://journal.open-broker.ru/research/rosstat-dal-pervuyu-ocenku-vvp/>

7. Инфляционные ожидания и потребительские настроения. № 4 (76) апрель 2023 года. Информационно-аналитический комментарий. URL: https://cbr.ru/Collection/Collection/File/43911/Infl_exp_23-04.pdf

8. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников в целом по экономике по субъектам Российской Федерации за 2000-2022 гг. URL: https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries

9. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций по видам экономической деятельности в Российской Федерации за 2000-2022 гг. URL: https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries

10. Обзоры зарплат. URL: <https://zarplan.com/zarplata>

11. Шмырев, А. В. Импортозамещение в российской строительной отрасли в условиях Западных санкций: проблемы и пути решения / А. В. Шмырев, А. А. Яушев // Инновационная экономика. – 2023. – № 1(34). – С. 82-99. – EDN QLFCFU.

12. Орлов, А. К. Прогноз стоимости основных строительных материалов в условиях неопределенности: методика и практика / А. К. Орлов, В. А. Болгов // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 293-303. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.2.293-303. – EDN KODHOT.

13. Воробьев, П. В. Актуальные вопросы строительной отрасли в Российской Федерации на современном этапе / П. В. Воробьев, О. Б. Керженцев // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1(16). – С. 62-65. – DOI 10.51608/26867818_2022_1_62. – EDN QMXIQX.

14. Единый ресурс застройщиков. URL: <https://erzrf.ru/news/v-rossii-za-god-snilos-proizvodstvo-14-iz-25-osnovnykh-tovarov-dlya-stroitelnoy-otrasli-?search=mat&tag=Статистика>

15. Промышленность строительных материалов: итоги 2022 года и перспективы на 2023 год. Часть I. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/279147328>

16. Строительство в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. - М., 2022. – 148 с.

17. Разаханова, Ф. М. Особенности импортозамещения строительных материалов на рынке строительной продукции / Ф. М. Разаханова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44, № 4. – С. 223-233. – DOI 10.21822/2073-6185-2017-44-4-223-233. – EDN LBPKNZ.

18. Кириллова Е. Сможет ли российская стройиндустрия обойтись без импорта // Ведомости. 17 апреля 2018. URL: www.vedomosti.ru/realty/articles/2018/04/18/766895-rossiiskaya-stroiindustriyaoboitis-importa

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2023; одобрена после рецензирования 25.05.2023; принята к публикации 25.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2023; approved after reviewing 25.05.2023; accepted for publication 25.05.2023.



Научная статья

УДК 528.482.4

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура.

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

doi:10.51608/26867818_2023_2_45

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ ГРУНТОВЫХ СВАЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ НА ФУНДАМЕНТНУЮ ПЛИТУ

© Авторы 2022
SPIN: 2492-7355
AuthorID: 625302

ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич
доктор технических наук, профессор ЦАКРИОС
Тольяттинский государственный университет
(Россия, Тольятти, e-mail: gsx@tltsu.ru)

SPIN: 7305-6601
AuthorID: 804612

ГРИЦКИВ Любовь Николаевна
старший преподаватель ЦАКРИОС
Тольяттинский государственный университет
(Россия, Тольятти, e-mail: gritskiv.lubov@yandex.ru)

Аннотация. В настоящей работе представлены методика и результаты измерений деформирования сжимающей толщи грунтовых свай при длительном действии нагрузки прерванного строительством высотного здания на монолитную фундаментную плиту по стеновым и глубинным маркам методом геометрического нивелирования.

Ключевые слова: абсолютные отметки; геометрическое нивелирование; нивелир; глубинная марка; стеновая марка; глубинный репер; осадки; строительные конструкции; строительная механика

Для цитирования: Ерышев В.А., Грицкив Л.Н. Измерение деформирования сжимаемой толщи грунтовых свай при длительном действии нагрузки на фундаментную плиту // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 45-47. doi:10.51608/26867818_2023_2_45.

Original article

DEFORMATION MEASUREMENT OF A COMPRESSED LAYER OF SOIL PILES DURING A PROLONGED LOAD ON A FOUNDATION PLATE

© The Authors 2023

ERYSHEV Valery Alekseevich
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
Togliatti State University
(Russia, Togliatti, e-mail: gsx@tltsu.ru)

GRITSKIV Lyubov Nikolaevna
Senior Lecturer of the Department
Togliatti State University
(Russia, Togliatti, e-mail: gritskiv.lubov@yandex.ru)

Abstract. This paper presents the methodology and results of measurements of the deformation of the compressive thickness of soil piles under the prolonged action of the load of a high-rise building interrupted by construction on a monolithic foundation plate along wall and depth marks by the method of geometric leveling.

Keywords: absolute marks; geometric leveling; leveling; depth mark; wall mark; depth reference; precipitation; building structures; building mechanics

For citation: Eryshev V.A., Gritskiv L.N. Deformation measurement of a compressed layer of soil piles during a prolonged load on a foundation plate // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 45-47. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_45.



Измерения осадок фундаментной плиты возведенного каркаса высотного здания гостиницы в 22 этажа производилось в связи с длительным сроком прекращения строительства с 1968 г. Фундамент здания гостиницы запроектирован и выполнен в виде конструкции коробчатого типа, имеющий нижнюю плиту толщиной 1,0 м, верхнюю плиту толщиной 0,4 м, которые соединены стенками толщиной 0,8 м, расположенными по всем координатным осям. Высота стенок равна 2,6 м. Фундаментная плита имеет размеры в плане 28x49 м.

Фундамент опирается на искусственное основание, выполненное из грунтовых свай, расположенных на расстоянии 1,5 м одна от другой, диаметром 0,5 м. Сваи выполнены с помощью станков ударно-канатного бурения БС-1, имеющий уплотняющий снаряд $d = 423$ мм каплевидной формы. По проекту сваи должны иметь длину 11,2 м от подошвы фундамента, однако, в связи с наличием в основании линз переувлажненного грунта, часть свай выполнена меньшей длины. Качество грунтового основания, его несущая способность и деформативность стало причиной остановки строительства. Учитывая сложные инженерно-геологические условия строительства и ответственность сооружения, проектом ЦНИИЭП жилища разработаны программа и методика наблюдений за осадками и деформациями грунтов основания и фундаментов, как в процессе строительства, так и в период эксплуатации. В разные годы с 1969-87гг. производилось 5 циклов измерений осадок, результаты представлены в отчетах [1-2]. Цель инструментальных измерений на 6 цикле – определить осадки фундаментной плиты в настоящий момент времени. Участок работ по своей характеристике приближен к неблагоприятным условиям при производстве высокоточного геометрического нивелирования от контрольного глубинного репера до настенных и глубинных осадочных марок. Работы производились при ограниченном доступе к контрольным маркам из-за существующей застройки, навалов грунта и строительного мусора. При нивелировании глубинных осадочных марок, работы велись при искусственном освещении и резких перепадах температуры окружающего воздуха. Для дополнительного освещения шкал инструмента и рейки использовались малогабаритные фонари.

Инженерно-геодезические работы включали:

- измерение абсолютных отметок и осадок стеновых нивелирных марок, установленных по периметру наружных стен монолитного фундамента высотной части;
- измерение абсолютных отметок и осадок глубинных нивелирных марок, установленных на отметке -5.0 м; -10.0 м; -15.0 м; -25.0 м;
- с целью оперативного определения осадок глубинных марок в процессе строительства и даль-

нейшей эксплуатации здания, на каждую марку установлены прогибомеры дистанционного типа с ценой деления 0,1 мм.

Измерение осадок производилось методом геометрического нивелирования точностью 2 класса, нивелиром Н-05 с использованием штриховых инварных и специальных малогабаритных реек, короткими лучами от 3 до 5 метров. При производстве работ выдерживались допуски по длине, высоте визирного луча над поверхностью земли и конструкциями здания, не менее 30 см.

По своим техническим характеристикам инструменты соответствовали требованиям «Инструкции по нивелированию 1-4 классов» [4], а также «Руководству по наблюдению за деформациями оснований фундаментов зданий и сооружений» [3]. Систематически в период работ проверялся угол «i» нивелира. Величина угла колебалась от $\pm 1''$ до $\pm 3''$, при допуске $\pm 20''$.

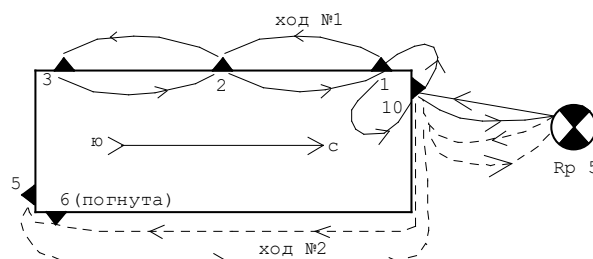


Рис. 1. Схема нивелирных ходов по периметру наружных стен монолитного фундамента

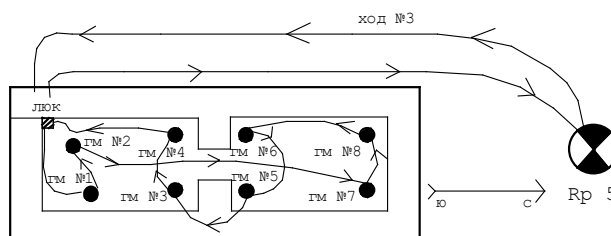


Рис. 2. Схема нивелирного хода глубинных осадочных марок

Таблица 1 – Технические характеристики нивелирных ходов

№ п/п	Наименование хода	Число штативов	Невязка в мм		Примечание
			получ. в мм	допуст. в мм	
1	Ход №1 (стеновые нивелирные марки: М №10; М №1; М №2; М №3)	10	00	$\pm 3,2$ мм	М №10 – определена в двух ходах
2	Ход №2 (стеновые нивелирные марки: М №10; М №%)	10	+0	$\pm 3,2$ мм	
3	Ход №3 (все глубинные марки)	25	-2	$\pm 5,0$ мм	



Нивелирование выполнено тремя замкнутыми ходами в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах прибора (рис. 1 и 2). Допускаемая невязка в ходах определена по формуле $\Delta_{\text{доп}} = \pm 1\sqrt{n}$ (мм), где n – число штативов в ходе. Техническая характеристика нивелирных ходов приведена в табл. 1. Приведенные в таблице значения технических характеристик свидетельствуют, что все хода находятся в пределах допуска и соответствуют техническим требованиям нормативных документов по нивелированию 1-4 классов.

Результаты измерений осадок стеновых и глубинных марок

Абсолютные отметки марок в 1969 г. приняты за нулевой цикл. Относительно нулевого цикла наибольшие осадки 76 и 79 мм произошли марок ГМ. №5 и ГМ. №1, глубина заложения которых составляет 5.10 и 5.20 м, причем в сравнении с предыдущим 5 циклом осадки не увеличились, что свидетельствует об их стабилизации. Наиболее слабые слои грунта залегают на глубине 10 м, о чем свидетельствует увеличение осадок марок ГМ.№2 и ГМ.№6 в сравнении с 5 циклом на 9 и 8 мм, а суммарные осадки, соответственно, составляют 40 и 41 мм. Увеличение осадок марок, глубина заложения которых составляет 15 и 25 м, в сравнении с 5 циклом, не происходит, более того, абсолютные отметки этих марок соответствуют или близки к их значениям в 1987 г. Таким образом, за 20 лет слои грунта на глубине 15 и 25 м практически не деформировались. Следует отметить, что слои грунта на глубинах заложения марок сжимаются равномерно (осадки по двум маркам, заложеным на одной глубине, имеют близкие значения), что не даёт оснований прогнозировать значительный крен фундаментной плиты и здания. Из наружных стеновых марок, установленных по периметру монолитного фундамента в 1974 г., на настоящий период в удовлетворительном состоянии находятся: М №1; М №2; М №10. Марка №5 имеет незначительное повреждение сваркой. Марка №3 наблюдалась по сохранившемуся срезу уголка, с введением поправки на 15 мм (первоначальной установки рейки). Марка №6 не

наблюдалась – погнута. Марки №4; №7; №8 и №9 – уничтожены.

Таким образом, из десяти стеновых марок сохранились и могут быть наблюдаться пять марок. Абсолютные отметки марок первого наблюдения 30.05.74 г. приняты за нулевой цикл. Полученные результаты измерений свидетельствуют, что осадки здания продолжают, однако их рост по сравнению с предыдущим 5 циклом в среднем 5,4 мм, что составляет меньше 1 мм в год. По абсолютной величине осадки не превышают 100 мм, что значительно меньше предельно допустимой величины – 180мм, установленной в работе [2]. Максимальная разность осадок составляет 10 мм.

Выводы

1. Осадка уплотнённых грунтов под фундаментной плитой происходила равномерно. Максимальная разность осадок между двумя глубинными марками, установленными соответственно на отметках: -5.0 м; -10.0 м; -15.0 м; -25.0 м, за 38 лет не превышает 4 мм, что не даёт оснований прогнозировать значительный крен фундаментной плиты и здания, а расчётная величина сжимаемой толщи грунтов 28 - 30 м не требует корректировки.

2. Максимальная осадка фундаментной плиты, замеренная по сохранившимся маркам, составляет за 33 года не более 100 мм, что в 2 раза меньше предельной величины, установленной нормативными документами [3], а скорость роста осадок по сравнению с предыдущим циклом измерений не превышает 1 мм в год.

Библиографический список

1. Пояснительная записка о проведённой работе по наблюдению за деформацией фундамента (осадкой) 22 этажного здания гостиницы в Автозаводском р-не г. Тольятти - ООКСИР ВАЗа, май 2001 г.
2. Научно-техническое заключение по вопросу использования фундаментов здания гостиницы на 935 мест в г. Тольятти. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2001 г.
3. Крутов В.И. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа. – М: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 1984.
4. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. - Астана, 2007. 177 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 21.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 21.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Original article

УДК 691.32 + 691.328.1 + 691.335 + 624.042.5

ГРНТИ: 67 Строительство. Архитектура

ВАК: 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.6 Строительные материалы и изделия;

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_2_48

STIFFNESS CHARACTERISTICS OF THE GROUND BASE AND THERMAL STRESS STATE OF MASSIVE CONCRETE SLABS DURING THE CONSTRUCTION PERIOD

© Authors 2023

SPIN: 7890-9506

ORCID: 0000-0003-3420-9518

Scopus ID: 57189362370

IVANOV Ernest Nikolaevich

PhD Candidate

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(Russia, Saint-Petersburg, email: 79602615868@yandex.ru)

SPIN: 8120-8541

ORCID: 0000-0002-3752-1219

Scopus ID: 23019786200

SEMENOV Kirill Vladimirovich

assistant professor

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(Russia, Saint-Petersburg, email: kvsemenov@bk.ru)

SPIN: 9322-5097

Scopus ID: 57194429853

MANOVITSKYI Sergei Sergeevich

lead structural engineer

LLC «N-Systems»

(Russia, Saint-Petersburg, email: sergeimanovitsky@mail.ru)

SPIN: 3782-6138

Scopus ID: 5720507378

MAKEEVA Aleksandra Vasilevna

PhD Candidate

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(Russia, Saint-Petersburg, email: nicealexa@mail.ru)

SPIN: 6369-9061

ORCID: 0000-0002-7661-4071

Scopus ID: 57197806433

KULESHIN Aleksey Sergeevich

BIM-manager

Semren & Mansson - Bureau of Architecture

(Russia, St. Petersburg, email: alex_kulesh4@mail.ru)

Abstract. Thermal stressed state of massive concrete and reinforced concrete structures during the building period is characterized by the risk of large tensile stresses that can lead to the temperature cracks and affect the whole structure integrity. For the crack resistant constructions, such defects are unacceptable. The concrete hardening process is accompanied by a large amount of heat release due to the cement hydration reaction. The most dangerous cases are those, which cause the non-uniform temperature distribution over the body of the block. Significant gradients can lead to stresses exceeding the stresses from operational loads. On top of that, there are factors also affecting the thermal stress state such as ambient temperature fluctuations, solar radiation, the block cooling velocity, initial and boundary conditions, the stiffness of the basement. The last factor is the subject of research reflected in the current work.

The article found that ignoring the ground base deformation characteristics may lead to a significant crack resistance overestimation during the design of concrete curing measures. By the calculation, the direct dependence between concrete cracking in the foundation slab and the basement stiffness was revealed: the larger stiffness, the more intensive crack propagation. It is shown that the influence degree depends on the construction thickness: there is the decrease of sensitivity with the larger block thickness, when the thing concreting block is more susceptible to this effect.

Keywords: thermal stresses; thermal cracks; massive concrete constructions; thermal stress analysis; temperature; hydration; early-age concrete; building period

For citation: Ivanov E.N., Semenov K.V., Manovitskyi S.S., Makeeva A.V., Kuleshin A.S. Stiffness characteristics of the ground base and thermal stress state of massive concrete slabs during the construction period // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 48-52. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_48.



Научная статья

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ И ТЕРМОНАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ
МАССИВНЫХ БЕТОННЫХ ПЛИТ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД**

© Авторы

SPIN: 7890-9506

ORCID: 0000-0003-3420-9518

Scopus ID: 57189362370

ИВАНОВ Эрнест Николаевич

аспирант

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Россия, Санкт-Петербург, email: 79602615868@yandex.ru)

SPIN: 8120-8541

ORCID: 0000-0002-3752-1219

Scopus ID: 23019786200

СЕМЁНОВ Кирилл Владимирович

доцент

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Россия, Санкт-Петербург, email: kvsemenov@bk.ru)

SPIN: 9322-5097

Scopus ID: 57194429853

МАНОВИЦКИЙ Сергей Сергеевич

ведущий инженер-конструктор

ООО «N-Systems»

(Россия, Санкт-Петербург, ул. Оптиков, д. 4,
email: sergeimanovitsky@mail.ru)

SPIN: 3782-6138

Scopus ID: 5720507378

МАКЕЕВА Александра Васильевна

аспирант

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Россия, Санкт-Петербург, email: nicealexa@mail.ru)

SPIN: 6369-9061

ORCID: 0000-0002-7661-4071

Scopus ID: 57197806433

КУЛЁШИН Алексей Сергеевич

ВМ-менеджер

Semgren & Mansson - Архитектурное бюро

(Россия, Санкт-Петербург, Набережная канала Грибоедова, д.6/2,
литера А, пом. 9Н, email: alex_kulesh4@mail.ru)

Аннотация. Термонапряжённое состояние массивных бетонных и железобетонных конструкций в строительный период характеризуется риском появления больших растягивающих напряжений и, как следствие, температурных трещин, нарушающих целостность конструкции. Данные дефекты для трещиностойких конструкций недопустимы. Процесс твердения бетона сопровождается выделением большого количества теплоты в результате реакции гидратации цемента. Наиболее опасны случаи неравномерного распределения температур по телу блока. Значительные градиенты могут привести к напряжениям, превышающим напряжения от эксплуатационных нагрузок. Также на термонапряжённое состояние оказывают влияние колебания температуры окружающей среды, солнечная радиация, скорость остывания блока, начальные и граничные условия, жёсткость основания. Последний фактор является предметом исследования, отражённого в данной работе.

В статье установлено, что игнорирование деформативных характеристик основания может привести к существенной переоценке трещиностойкости при проектировании мер по уходу за бетоном. Расчётным путём выявлена прямая зависимость распределения трещин в фундаментной плите от жёсткости основания: чем больше жёсткость, тем более интенсивно трещинообразование. Показано, что степень влияния зависит от толщины конструкции: при большей толщине блока, наблюдается снижение его чувствительности, в то время как блок с меньшей толщиной более подвержен воздействию данного эффекта.

Ключевые слова: температурные напряжения; температурное трещины; массивные бетонные конструкции; расчёт термонапряжённого состояния; температура; гидратация; молодой бетон; строительный период

Для цитирования: Характеристики жёсткости основания и термонапряжённое состояние массивных бетонных плит в строительный период / Э.Н. Иванов, К.В. Семёнов, С.С. Мановицкий, А.В. Макеева, А.С. Кулёшин // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 48-52. doi:10.51608/26867818_2023_2_48.



Introduction

Hardening of massive concrete and reinforced concrete structures is accompanied by a larger amount of heat liberation due to the exothermic reaction of cement hydration. As a result of non-uniform cooling of the structure, the thermal cracks may develop [1–7]. Such fractures are unacceptable in crack resistant constructions.

There are factors influencing the thermal stress state of massive concrete and reinforced concrete structures such as initial conditions (thermal gradient between concrete mixture and ambient, temperature), boundary conditions (presence/absence of insulation), temperature fluctuations of ambient, cement activity, solar radiation [8, 9].

Currently, thermal stressed state calculations taking in account the ground base stiffness characteristics are not spread. The basement is not modeled but just substituted by rigid constraints of the bottom surface of the concreting block that may lead to non-realistic temperature and stress distributions [2–5, 10, 11].

In engineering practice, the soil stiffness consideration plays a significant role. It allows forming the appropriate measures for concrete curing based on the right thermal crack resistance estimation. The direct dependence between concrete cracking in the foundation slab and the basement stiffness is revealed in this research.

Materials and Methods

Thermal-stress analysis of massive concrete and reinforced concrete structures during the building period consists of three tasks:

1. thermal field determination
2. stress determination
3. crack resistance verification

The 1st task is based on the solution of thermal conductivity homogeneous differential equation [12–13]. The result of this step provides the thermal field distribution across the concreting block. The 2nd one includes stress evaluation via deformations generated from the specified temperatures. Finally, the special check according to P.I. Vasil'ev's design criteria is made, which allows to reveal the crack propagation in the construction [14].

Thermal-stress state analysis is performed with the TERM program invented in the Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University [15]. All calculations are done providing creep and hardening temperature influence on the thermal-physical and strain characteristics of concrete [16–18].

The ground base stiffness influence on the thermal stress state of a massive foundation slab is established on the consideration of several calculation cases with different basement materials and foundation thickness (table 1, 2). The foundation slab of the Nizhny Novgorod hydroelectric complex of inland water transport of the Russian Federation was taken as the design object

(fig. 1). In order to estimate the basement stiffness effect quantitatively, the required insulation thickness was selected for each design situation to meet the crack resistance criterion.

Material of heat insulation is polystyrene with coefficient of heat conductivity $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\times^\circ\text{C}$. Air and initial basement temperature are 20°C , concrete mix temperature is 25°C .

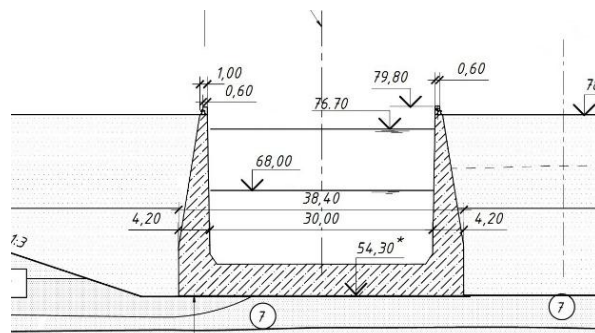


Fig. 1. Fragment of a cross section of the gateway

The slab is fully height concreted. Concrete mixture is poured on the concrete bedding. Structure properties are represented in table 1.

Table 1 – Slab parameters

N	Name	Material	Thickness, m
1	Ground base	variable	–
2	Concrete bedding	concrete B12.5	0.5
3	Waterproofing	technoelast	–
4	Foundation slab	concrete B30	variable

Characteristics of the main parameters for each design situation are represented in table 2.

Table 2 – Design parameters

N	Subfoundation material	Elasticity modulus (E), MPa	Thickness of the slab, m		
			4.2	3	1.5
1	Granit	50000	+	+	+
2	Limestone	25000	+	+	+
3	Mild clay	25	+	+	+

NOTE “+” – means that parameter is combined in the design situation.

The following thermal-physical characteristics are accepted for the concrete B30:

- thermal conductivity coefficient: $\lambda_b = 2.67 \text{ W}/(\text{m}\times^\circ\text{C})$
- specific heat capacity: $c_b = 1.0 \text{ kJ}/(\text{kg}\times^\circ\text{C})$.

Results

Thickness 4.2 m

The calculation of the thermal stressed state of a foundation slab with a thickness of 4.2 m was carried



out for three values of basement stiffness (table 2). The required thickness of the thermal insulation was selected in each case.

The dependence of the thermal stresses on the age of concrete is shown in the graph (Fig. 2).

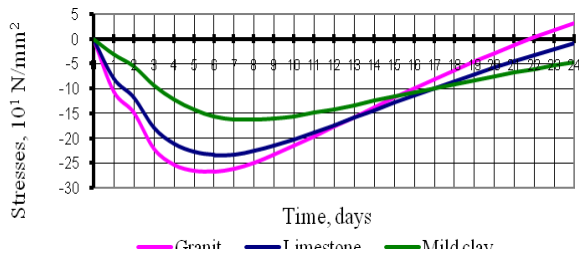


Fig. 2. Change in stresses of the center slab for each basement rigidity value

According to the graph, the maximum compressive stresses develop in the core of the slab with foundation basement made with granite then limestone and mild clay (on a 1/1.2/1.6 ratio). On the 22nd day, compression is replaced by stretching. The block center with the limestone base and mild clay was compressed throughout the entire base period.

The required thickness of thermal insulation on the slab surface of block on the granite basement, limestone and mild clay respectively: 0.2 cm, 0.5 cm, 1.3 cm. Thickness 3 m

The calculation of the thermal stressed state of a foundation slab with a thickness of 3 m was carried out for three values of basement stiffness (table 2). The required thickness of thermal insulation was selected in each case.

The dependence of temperature stresses on the age of concrete is shown in the graph (Fig. 3).

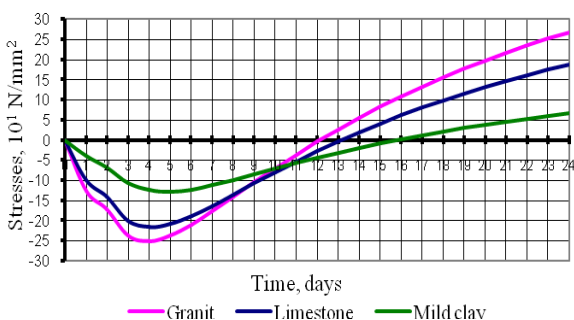


Fig. 3. Change in stresses of the center slab for each basement rigidity value

According to the graph, the maximum compressive stresses develop in the core of the slab with foundation basement made with granite then limestone and mild clay (on a 1/1.2/1.9 ratio). On the 12th day compression is replaced by stretching. The block center with limestone base is stretched on the 13th day, with mild clay on the 16th day. The maximum tensile stresses ratio

in the core during the reference period is respectively 1/1.4/4.3.

The required thickness of thermal insulation on the slab surface of block on the granite basement, limestone and mild clay respectively: 1.2 cm, 0.2 cm, 1.1 cm. Thickness 1.5 m

The calculation of the thermal stressed state of a foundation slab with a thickness of 1.5 m was carried out for three values of basement stiffness (table 2). The required thickness of thermal insulation was selected in each case.

The dependence of temperature stresses on the age of concrete is shown in the graph (Fig. 4).

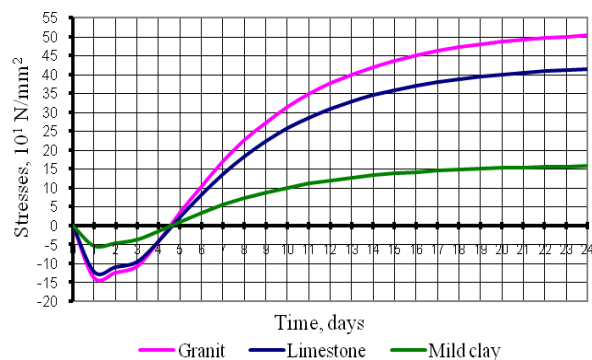


Fig. 4. Change in stresses of the center slab for each basement rigidity value

According to the graph, the maximum compressive stresses develop in the core of the slab with foundation basement made with granite then limestone and mild clay (on a 1/1.1/2.7 ratio). On the 4th day compression is replaced by stretching. The maximum tensile stresses ratio in the core during the reference period is respectively 1/1.2/3.3.

The required thickness of thermal insulation on the slab surface of the block on the mild clay basement is 0.4 cm. In other cases, it is not possible to select the thermal insulation: cracks appear with any thermal insulation.

Discussion

The calculation results of thermal crack resistance for slabs with the heights of 4.2 m, 3 m and 1.5 m are represented in table 3.

Table 3 – The foundation slab crack resistance calculation results

Slab thickness, m	Insulation thickness, cm, provided the basement is			Tensile stresses, 10 ¹ N/mm ² , provided the basement is		
	Granit	Limestone	Mild clay	Granit	Limestone	Mild clay
4.2	0.2	0.5	1.3	–	–	–
3	1.2	0.2	1.1	26	18.5	6
1.5	–	–	0.4	50	41	15



According to table 3, the stiffer basement with the smallest slab thickness (granite, slab thickness 1.5 m, tensile stresses 5 N/mm²) has the greatest impact on the distribution of thermal stresses in the core; the smallest impact is observed for the weakest basement and the thickest slab (mild clay, slab thickness 4.2 m, no tensile stresses). Such an effect is explained by the occurrence of large reactions in the base with its greater stiffness and less bearing capacity of concrete massive, when the foundation thickness decreases (Fig. 2, 3, 4).

The distribution of the required thermal insulation thickness for all design situations does not fully correlate with the stress values in the block core. This fact may be explained by increasing the ground base stiffness effect on the block's surface layers due to decreasing its thickness. In that case, it is recommended to concrete a slab with 3 m thickness on a limestone base, where thermal insulation is almost not required. Thus, there is a certain balance, when the crack resistance criterion of P.I. Vasil'ev is nearly complied.

Conclusion

1. The stiffness of the massive foundation basement should be taken into account in the calculation of thermal stress state during the construction period.

2. The influence of the basement stiffness is greater, when the ratio of basement stiffness to foundation stiffness is bigger, and should be evaluated by calculations.

3. Thermal insulation as a control measure of cracks elimination could be used in situations, where the structure is less sensitive to the basement strain characteristics, i.e. has a greater thickness. Otherwise, a combination of measures to regulate the hardening regimes will be required, e.g. pre-cooling of the concrete mixture before concreting, pipe cooling, etc.

4. Further research may be performed in the direction of comparing the effect of different soil models such as linear elastic, elasto-plastic, visco-elastic and others.

References

1. Maruyama, I, L.P.: Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete. *Cem. Concr. Res.* 123, 105770 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.015>.
2. Lacarrière, L., Knoppik, A., Leal da Silva, W.R., Honorio, T., Šmilauer, V., Asamoto, S., Fairbairn, E.M.R.: Hydration and heat development. *RILEM State-of-the-Art Reports.* 27, 13–46 (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-319-76617-1_2.
3. Nguyen, T.C., Huynh, T.P., Tang, V.L.: Prevention of crack formation in massive concrete at an early age by cooling

pipe system. *Asian J. Civ. Eng.* 20(8), 1101–1107 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00175-5>.

4. Aniskin, N., Chuc Nguyen, T., Kiet Bui, A.: The use of ice to cool the concrete mix in the construction of massive structures. *E3S Web Conf.* 264, 02047 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402047>.

5. Wang, D.B., Song, X.B., Nie, H.Y.: Cracking analysis of massive concrete with large-diameter pipes during construction. *Constr. Build. Mater.* 338, 127636 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127636>.

6. Vatin, N.I., Nemova, D.V., Rymkevich, P.P., Gorshkov, A.S.: Influence of building envelope thermal protection on heat loss value in the building. *Mag. Civ. Eng.* 8, 1–13 (2012).

7. Nemova, D.V., Vatin, N.I., Gorshkov, A.S., Kashabin, A.V., Rymkevich, P.P., Tseytin, D.N.: Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelopes of an individual house. *Constr. Unique Build. Struct.* 8 (23), 93–115 (2014).

8. Teleshev, V.I.: Calculation of the permissible temperature regime of concrete masonry from the conditions for ensuring its crack resistance. 37 (1985).

9. Pustovgar, A.P., Lavdansky, P.A., Yesenov, A.V.: Research work report. Study of the distribution of temperatures and stresses in selected designs of nuclear power plants during hardening of concrete mix. *Concrete production offers.* 137 (2012).

10. Nguyen, C.T., Aniskin, N.A.: Temperature regime during the construction massive concrete with pipe cooling. *Mag. Civ. Eng.* 89(5), 156–166 (2019). <https://doi.org/10.18720/MCE.89.13>.

11. Van Lam, T., Nguen, C.C., Bulgakov, B.I., Anh, P.N.: Composition calculation and cracking estimation of concrete at early ages. *Mag. Civ. Eng.* 82, 136–148 (2018). <https://doi.org/10.18720/MCE.82.13>.

12. Zaporozhets, I.D., Okorokov, S.D., Pariyskiy, A.A.: *Heat Liberation by Concrete.* 316 (1966).

13. Gorshkov, A.S., Rymkevich, P.P., Vatin, N.I.: Simulation of non-stationary heat transfer processes in autoclaved aerated concrete-walls. *Mag. Civ. Eng.* 8, 38–48 (2014).

14. СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений [Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures]. 2012. 72 p.

15. Korotchenko, I.A., Ivanov, E.N., Manovitsky, S.S., Borisova, V.A., Semenov, K. V., Barabanshchikov, Y.G.: Deformation of concrete creep in the thermal stress state calculation of massive concrete and reinforced concrete structures. *Mag. Civ. Eng.* 69, 56–63 (2017). <https://doi.org/10.18720/MCE.69.5>.

16. Malinin, N.A.: Research of thermal stressed state of mass concrete structures with changing deformations characteristics. *Cand. tech. sci. diss.* 186 (1977).

17. Vasilyev, P.I.: Relationship between stresses and deformations in concrete under compression, taking into account the influence of time. *VNIIG News.* 45, 78–93 (1951).

18. Semenov, K., Barabanshchikov, Y.: Thermal Cracking Resistance in Massive Concrete Structures in the Winter Building Period. *Appl. Mech. Mater.* 725–726, 431–441 (2015).

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 19.02.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 19.02.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 15.05.2023.



Научная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2023_2_53

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА С АГРЕГИРОВАННЫМ ОРИЕНТИРОВАННЫМ ФИБРОВЫМ АРМИРОВАНИЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

© Авторы 2023

SPIN: 9254-3688

AuthorID: 649312

МАИЛЯН Левон Рафаэлович

академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры автомобильных дорог
*Российская академия архитектуры и строительных наук;
Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону, e-mail: lrm@aanet.ru)*

SPIN: 4958-7342

AuthorID: 1188238

ШИЛОВ Пётр Андреевич

аспирант кафедры автомобильные дороги
*Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону, e-mail: shilov.petr98@gmail.com)*

Аннотация. Постановка задачи. Темпы развития современного строительства создают необходимость разработки новых технологий, позволяющих придать классическим строительным материалам особые свойства, позволяющие расширить спектр их применения. Разработанная технология механического распределения и ориентирования вдоль действующих в конструкции растягивающих напряжений фибровых волокон в теле линейных фибробетонных и фиброжелезобетонных элементов может обеспечить более эффективное использование фибрового дисперсного армирования за счет включения большего количества волокон в работу сечения. Необходимо провести экспериментальные исследования для изучения прочностных и деформативных свойств фибробетона по разработанной авторами технологии укладки фибробетонной смеси.

Результаты. Представлены результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных характеристик фибробетона, изготовленного по механической технологии создания агрегированного ориентированного фибрового армирования.

Выводы. Представленные результаты экспериментальных исследований позволили отработать особенности предлагаемой авторами технологии создания фибробетона с агрегированным ориентированным фибровым армированием и получить материал с повышенными технико-экономическими показателями.

Ключевые слова: бетон; железобетон; фибробетон; преднапряженные конструкции; использование материалов в конструкциях и расчетах; строительные материалы

Для цитирования: Маилян Л.Р., Шиллов П.А. Технология изготовления фибробетона с агрегированным ориентированным фибровым армированием и исследование его характеристик // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 53-59. doi:10.51608/26867818_2023_2_53.



Original article

THE TECHNOLOGY OF MAKING FIBER CONCRETE WITH AGGREGATED ORIENTED FIBER REINFORCEMENT AND THE ANALYSIS OF ITS CHARACTERISTICS

© The Author(s) 2023 **MAILYAN Levon Rafaelovich**

Academician of RAACS, Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Prof. of the Department of Roads
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
Don State Technical University
(Russia, Rostov-on-Don, e-mail: lrn@aanet.ru)

SHILOV Petr Andreevich

PhD Candidate
Don State Technical University
(Russia, Rostov-on-Don, e-mail: shilov.petr98@gmail.com)

Abstract. Statement of the problem. The pace of development of modern construction creates the need to develop new technologies that make it possible to give classic building materials special properties, allowing them to expand the range of their application. The developed technology of mechanical distribution and orientation along the tensile stresses acting in the structure of fiber fibers in the body of linear fiber-reinforced concrete and fiber-reinforced concrete elements can provide more efficient use of fiber dispersed reinforcement by including more fibers in the work of the section. It is necessary to conduct experimental studies to study the strength and deformation properties of fiber-reinforced concrete according to the technology of laying fiber-reinforced concrete mixture developed by the authors.

Results. The results of experimental studies of the strength and deformation characteristics of fiber-reinforced concrete, manufactured using the mechanical technology for creating aggregated oriented fiber reinforcement, are presented.

Conclusions. The presented results of experimental studies made it possible to work out the features of the technology for creating fiber-reinforced concrete with aggregated oriented fiber reinforcement proposed by the authors and to obtain a material with improved technical and economic indicators.

Keywords: concrete; reinforced concrete; fiber-reinforced concrete; prestressed structures; use of materials in structures and calculations; building materials

For citation: Mailyan L.R., Shilov P.A. The technology of making fiber concrete with aggregated oriented fiber reinforcement and the analysis of its characteristics // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 53-59. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_53.

Введение

В строительной практике на данный момент наблюдается значительный рост монолитного домостроения и достаточно остро стоит вопрос о создании альтернативной, более простой технологии, способной заменить преднапряжение высокопрочной арматуры, особенно в случаях перекрытия больших пролетов при невозможности увеличения высоты сечения элемента или, когда степень необходимого преднапряжения не высока.

В качестве альтернативных методов повышения трещиностойкости железобетонных конструкций, стоит выделить фибровое дисперсное армирование, технология которого проста и легко реализуется в условиях строительной площадки. При этом, фибровое армирование теоретически способно заменить предварительное напряжение растянутой арматуры только до определенной его степени, в случаях, когда, компенсируемый преднапряжением момент образования трещин, будет сравним с эф-

фектом от увеличения прочности фибробетона на растяжение.

На практике, замена фибровым армированием преднапряжения арматуры, в настоящий момент, не реализуема прежде всего из-за ряда недостатков технологии, среди которых стоит выделить неравномерность распределения фибр по объёму бетонной смеси и хаотичность её расположения, что не позволяет получить максимально возможные приросты прочности при сжатии и растяжении [1].

Очевидно, что создание простой механической технологии равномерного распределения (агрегирования) и ориентированного (вдоль действующих в конструкции напряжений) расположения фибр в бетонах с использованием крупного заполнителя позволит получить материал и конструкции из него с повышенными технико-экономическими показателями, позволив отказать от частичного использования линейной арматуры в сжатой зоне и стать альтернативой преднапряжению рабочей арматуры растянутой зоны.



Существующие на данный момент технологии, позволяющие получить частично ориентированное расположение фибровых волокон в бетонной матрице, в основном, направлены на ориентирование волокон в заданном направлении уже после перемешивания их с бетонной смесью [5-6]. Однако, после перемешивания фибры с бетоном, полученная фибробетонная смесь имеет повышенную жесткость, а фибровые волокна распределены в ней хаотично и неравномерно, вплоть до образования комков из фибровых волокон, что сильно усложняет процесс укладки такой смеси в опалубку и препятствует получению однородного состава [2]. После этого произвести процесс создания ориентированного направления фибровых волокон затруднительно даже с использованием магнитного поля. Добавим также, что в представленных на данный момент технологиях создания направленного ориентирования фибровых волокон в теле фибробетонного элемента одним из условий является отсутствие крупного заполнителя, что неприемлемо применительно к реальным строительным конструкциям.

Разработанная авторами и изложенная в работах [3-4] технология укладки фибробетонной смеси позволит не только улучшить механические свойства фибробетонной смеси, но и приведет к более равномерному распределению волокон в теле фибробетонного элемента, позволяя получить более однородные фибробетоны с гарантированными проектными свойствами. Также, укладка фибробе-

тонной смеси по разработанной авторами механической технологии позволит создать агрегированное ориентированное фибровое армирование, позволяющее обеспечить наиболее полное включение в работу сечения каждого фибрового волокна за счет его ориентирования вдоль действующих в элементе растягивающих напряжений. Однако для практической апробации и оптимизации предложенной авторами технологии необходимо провести экспериментальные исследования, предполагающие получение новых данных о физико-механических свойствах фибробетонов с агрегированным ориентированным расположением армирующих волокон, изготовленных по новой, предложенной авторами, технологии укладки фибробетонной смеси.

1. Программа экспериментальных исследований

Для проверки эффективности предлагаемой технологии и исследования свойств и диаграмм фибробетона с ориентированным агрегированным расположением волокон была разработана программа экспериментальных исследований, предусматривающая изготовление 36 опытных образцов для последующих испытаний на осевое сжатие, осевое растяжение и растяжение при изгибе (Рис. 1).

В представленной авторами программе экспериментальных исследований рассматривается влияние наличия фибрового дисперсного армирования, используемой технологии укладки фибробетон-

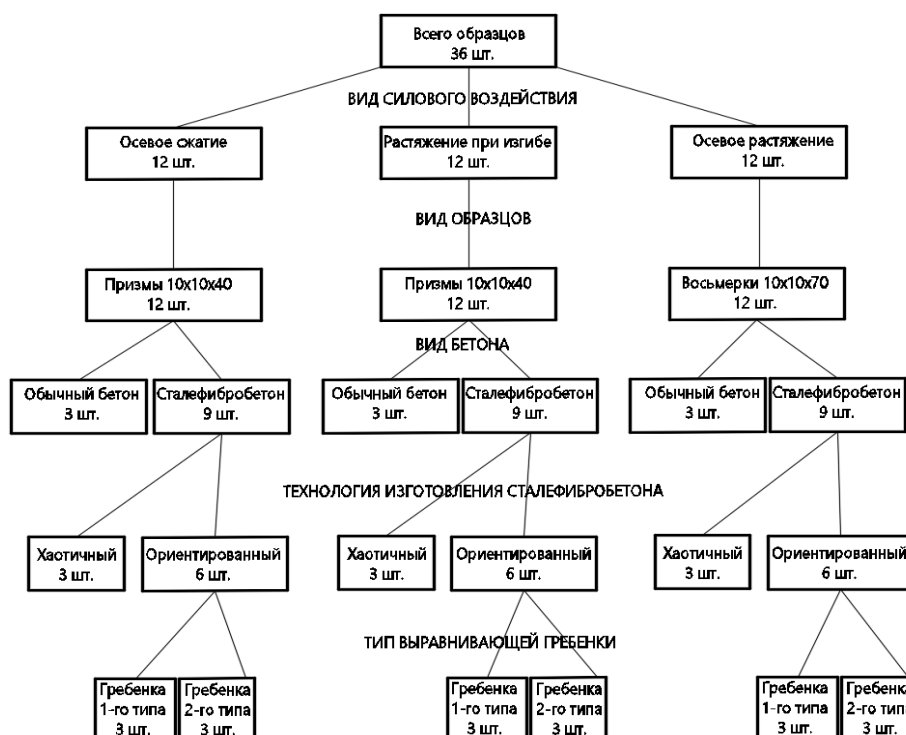


Рис. 1. Программа экспериментальных исследований бетонных и фибробетонных опытных образцов с произвольным распределением и расположением волокон и с агрегированным ориентированным расположением фибр



ной смеси, конструкции ориентирующего элемента установки для укладки фибробетонной смеси, вида напряженно-деформированного состояния и типа образцов.

Для получения данных о прочности на осевое сжатие предполагается изготовить 12 призм 10x10x100 для испытания на осевое сжатие, 12 призм 10x10x100 для испытания на растяжение при изгибе и 12 образцов-восьмерок для испытания на осевое растяжение. При этом, полученные данные будут контролироваться с помощью эталонных образцов, а также, с помощью метода прямого сопоставления будет определяться непосредственное влияние каждого из варьируемых факторов.

Опытные образцы будут разделены на 3 партии по 12 образцов, в зависимости от вида испытания. 3 образца из каждой партии являются эталонными и не будут содержать фибрового дисперсного армирования. Это необходимо для получения данных о фактической прочности бетона, используемого в экспериментах. Для оценки влияния предложенной авторами технологии укладки фибробетонной смеси на физико-механические свойства фибробетона, оставшиеся 9 образцов будут разделены на 2 части. 3 образца будут содержать фибровое дисперсное армирование с произвольным расположением армирующих волокон, а в остальных 6 с помощью предложенной авторами механической технологии будет создано агрегированное ориентированное расположение фибровых волокон. Эти образцы также будут делиться на 2 группы по 3 образца, в зависимости от типа конструкции выравнивающего элемента установки для укладки фибробетонной смеси.

Предложенная программа исследований позволит путем прямого сопоставления достаточно подробно оценить влияние каждого варьируемого фактора на прочностные и деформативные свойства используемых в экспериментах фибробетонов.

2. Изготовление опытных образцов

Для реализации разработанной авторами программы исследований было изготовлено 36 опытных образцов из тяжелого бетона проектного класса В25. Изготовление опытных образцов осуществлялось с помощью разработанной авторами мобильной установки, представленной на рис 2, 3.

В качестве минеральных компонентов бетонной смеси использовались: портландцемент завода ОАО «Новоросцемент» марки ПЦ 500-Д20 по ГОСТ 10178-85; щебень фракции 10 мм, прочностью 140 МПа, Бесланского карьера, с содержанием пылеватых и глинистых частиц 0,3-0,8%; песок кварцевый речной с модулем крупности 1,6-1,8, насыпной плотностью 1510 кг/м³. Для увеличения подвижности бетонной смеси и улучшения сцепления с фиброй была

использована добавка «Оптимист Суперпластификатор С409». Состав бетонной смеси был одинаковым для всех опытных образцов, подбирался расчетно-экспериментальным методом и приведен в Табл. 1. В смесь для фибробетонных образцов добавлялось фибровое армирование в кол-ве 2% от объема бетона.

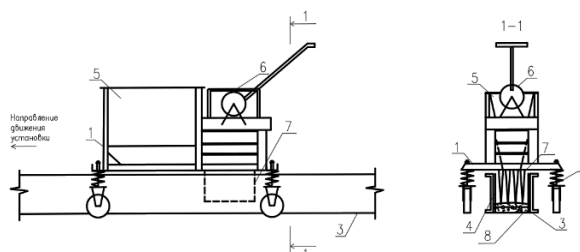
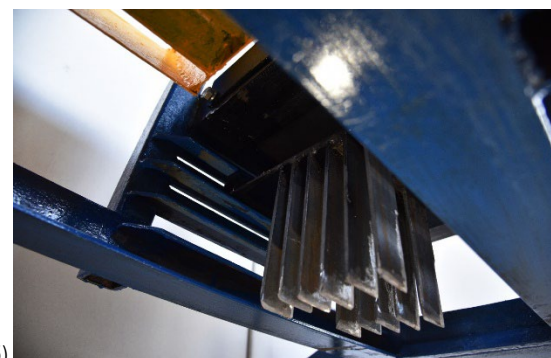


Рис. 2. Схема мобильной установки для бетонирования линейных элементов с агрегированным ориентированным фибровым армированием:

1 – стальная рама установки; 2 – пружинное шасси; 3 – опалубка бетонлируемого элемента; 4 – арматурный каркас бетонлируемого элемента; 5 – бункер подачи фибробетонной смеси; 6 – вибрирующий элемент; 7 – гребенка с рядами зубцов; 8 – первый слой фибробетонной смеси



а)



б)

Рис. 3. Общий вид лабораторной мобильной установки (а) и выравнивающей гребенки (б)

Таблица 1 – Состав тяжелого бетона проектного класса В25 естественного твердения

Бетон класса	Расход материалов на 1м ³ бетона, кг				
	Ц	П	Щ	В	Пластификатор
В25	459	657	1066	185	8,5



В качестве фибрового дисперсного армирования была принята анкерная фибра ФСВ-А-1,0/50, выпускаемая ЗАО «Танис» по ТУ РБ 400518274.004-2009, из рессорно-пружинной стали 70-85 с временным сопротивлением разрыву 2200 МПа, с латунным антикоррозионным покрытием. Номинальный диаметр волокон составил 1,0 мм, длина фибры - 50 мм.

Бетонная и фибробетонная смесь изготавливалась одним замесом для всех опытных образцов, в бетоносмесителе принудительного действия.

Уплотнение смеси для бетонных и фибробетонных образцов с хаотичным расположением волокон осуществлялось на вибростоле, а смеси для образцов с ориентированным агрегированным армированием - с помощью разработанной авторами мобильной установки. Схема установки для укладки фибробетонной смеси приведена в статьях, изданных ранее [3,4].

Разопалубка опытных образцов производилась на 7 сутки. Образцы хранились при влажности воздуха 89% и температуре от 20 до 23°C.

3. Результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных свойств фибробетонов с ориентированным агрегированным фибровым армированием

Прочностные и деформативные характеристики бетона и сталефибробетона при осевом сжатии определялись на стандартных призмах ступенчато возрастающей нагрузкой. Деформации бетона на каждой ступени нагружения измерялись электротензодатчиками сопротивления и механическими деформометрами. Начальный модуль упругости определялся при 30% от разрушающей нагрузки.

Всего на осевое сжатие было испытано 12 опытных образцов-призм. Из них 3 эталонные, не содержащие фибрового дисперсного армирования, 3 фибробетонные с хаотичным расположением фибровых волокон и 6 с фибровым агрегированным ориентированным армированием, которые также были разделены на 2 группы по 3 образца, в зависимости от типа выравнивающего элемента установки для укладки фибробетонной смеси.

При проведении испытаний отмечено, что характер разрушения бетонных и фибробетонных призм при сжатии кардинально отличался. Для бетонных призм было характерно хрупкое, мгновенное разрушение с появлением вертикальной магистральной трещины. Фибробетонные образцы разрушались вязко, при этом даже после разрушения, части призм оставались соединёнными фибрами.

Для определения характеристик бетона и фибробетона на осевое растяжение было испытано 12 образцов-«восьмёрок» размером 100x100x700мм. Для получения дополнительных данных о влиянии типа

гребёнки на изменение прочности и определения значения коэффициента перехода от прочности при осевом растяжении к растяжению при изгибе были проведены испытания на растяжение при изгибе 12 призм 100x100x700мм по ГОСТ 10180-2012.

В каждом виде испытаний по 3 образца были изготовлены из обычного бетона и по 9 - из фибробетона. Как и при испытаниях при сжатии, в 3 фибробетонных образцах фибры располагались произвольно, а в 6 – агрегированно и ориентированно. Последние также делились на две группы, по 3 образца в каждой, в зависимости от типа гребёнки в процессе ориентирования.

Для испытания «восьмёрок» на осевое растяжение использовались захваты, обеспечивающие соосность усилий. На каждом этапе нагружения производились замеры деформаций бетона с помощью тензодатчиков и механических деформометров. Появление первой микротрещины в фибробетонных образцах характеризовалось резким увеличением показаний одного из тензодатчиков, по которому прошла трещина, с уменьшением показаний соседних датчиков.

При испытаниях на осевое растяжение и растяжение при изгибе, после достижения максимальной нагрузки образцы из бетона разрушались практически мгновенно. Разрушение фибробетонных образцов, за счёт постепенного выдёргивания фибр из бетона и восприятия растягивающих усилий фиброй в трещине, проходило не так резко - после разрушения фибробетонные образцы какое-то время продолжали воспринимать нагрузку, а её снижение происходило с плавным нарастанием деформаций.

Таблица 2 – Результаты испытаний бетона и фибробетона на сжатие

Серия	Материал	Опытные значения прочности, МПа	Средние отклонения R_f от R_b , %	Начальный модуль упругости, МПа·10 ⁻³	Отклонения E_{fb} от E_b , %	Класс бетона прочности на сжатие В
1	Бетон	35,53	-	31,6	-	25
2	Фибробетон с произвольным расположением фибр	53,39	50,27	35,8	13,3	40
3	Фибробетон с агрегированным ориентированным расположением фибр гребёной I типа [3]	58,24	63,92	37,0	17,1	45
4	Фибробетон с агрегированным ориентированным расположением фибр гребёной II типа [3]	54,63	53,76	36,1	14,2	45

Примечание: значения призмной прочности приведены с учётом масштабного коэффициента $\alpha=0,95$

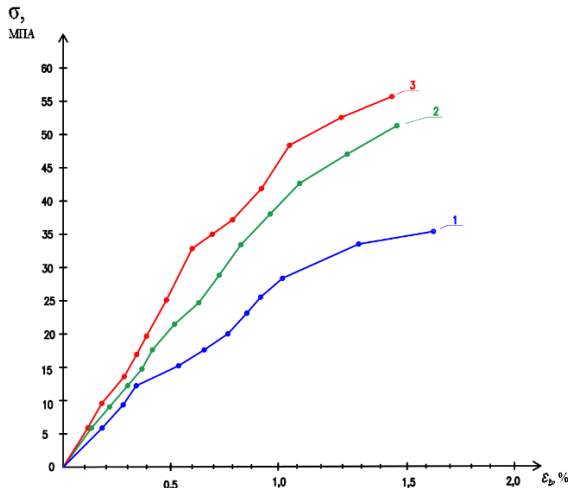


Рис. 4. Диаграммы деформирования бетона и фибробетона при сжатии:

1 – бетон; 2 - фибробетон с произвольным расположением фибр; 3 - фибробетон с усредненным ориентированным расположением фибр

Результаты проведенных экспериментов приведены в табл. 2-4.

Таблица 3 – Прочности бетона и фибробетона на осевое растяжение и растяжение при изгибе

Серия	Материал	Вид силового воздействия				Коэффициент перехода от прочности при осевом растяжении к растяжению при изгибе
		Осевое растяжение		Растяжение при изгибе		
		Опытные значения средней прочности МПа	Средние отклонения R_{fb}^{exp} от R_{bt}^{exp} , %	Опытные значения средней прочности, МПа	Средние отклонения R_{fth}^{exp} от R_{fb}^{exp} , %	
1	Бетон	1,53	-	2,89	-	0,53
2	Фибробетон с произвольным распределением фибр	4,10	167,9	7,59	162,6	0,54
3	Фибробетон с агрегированным ориентированным расположением фибр гребённой I типа [3]	5,57	264,0	9,94	243,9	0,56
4	Фибробетон с агрегированным ориентированным расположением фибр гребённой II типа [3]	5,15	236,6	9,36	223,9	0,55

Примечание: значения прочности на растяжение приведены с учётом масштабных коэффициентов $\nu=0,92$ и $\delta=0,92$

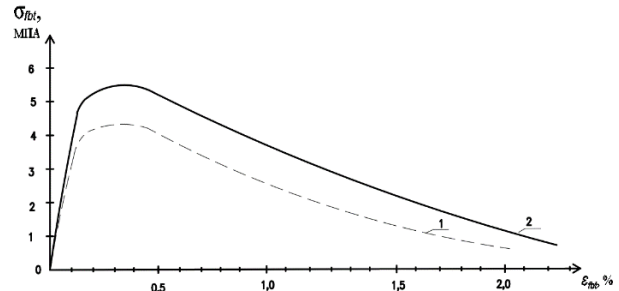


Рис. 5. Усредненные опытные диаграммы деформирования фибробетона при осевом растяжении: 1- фибробетон с произвольным и 2- усредненные с ориентированным расположением фибр

Таблица 4 – Сравнение прочности фибробетона с произвольным и агрегированным ориентированным расположением волокон при сжатии и растяжении

Серия	Материал	Вид силового воздействия			
		Осевое сжатие		Осевое растяжение	
		Опытные значения средней прочности, МПа	Средние отклонения R_{fb} с произвольным распределением фибр от ориентированного, %	Опытные значения средней прочности, МПа	Средние отклонения R_{fth}^{exp} с произвольным распределением фибр от ориентированного, %
1	Фибробетон с произвольным распределением фибр	53,39	-	4,10	-
2	Фибробетон с агрегированным ориентированным расположением фибр гребённой I типа [3]	58,24	9,1	5,57	35,8
3	Фибробетон с агрегированным ориентированным расположением фибр гребённой II типа [3]	54,63	2,3	5,15	25,6

Примечание: значения прочности на растяжение приведены с учётом масштабных коэффициентов $\nu=0,92$ и $\delta=0,92$

Выводы

Анализируя результаты проведенных экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- предложенная механическая технология агрегирования и ориентирования фибр в теле бетонной матрицы, помимо улучшения механических свойств, позволяет получать более однородные фибробетоны;
- проведенные экспериментальные исследования позволили выбрать конструкцию выравниваю-



щих элементов – максимальные показатели прочности при сжатии и растяжении были получены при использовании гребёнки I типа с двумя рядами ножей [3];

– агрегирование и ориентирование фибр увеличивает по сравнению с бетоном без фибр прочность фибробетона на сжатие на 63,92%, на растяжение – на 264%, начальный модуль упругости – на 17,1%, в то время как произвольная распределение и ориентация фибр – лишь на 53,39, 167,9 и 13,3% соответственно;

– наибольший эффект при ориентировании и агрегировании фибр вдоль действующих в бетоне напряжений отмечен при осевом растяжении – прочность выросла на 35,8% по сравнению с фибробетоном с произвольным расположением фибр и на 264% по сравнению с бетоном без фибр.

Библиографический список

1. Маилян, Л. Р. Расчет прочности изгибаемых фибробетонных элементов с высокопрочной арматурой / Р.Л. Маилян, Л.Р. Маилян, А.В. Шилов // Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1997. - № 4. - С. 4–7.
2. Маилян, Л. Р. Изгибаемые элементы из керамзитофибробетона с высокопрочной арматурой без предва-

рительного напряжения и при частичном / Р.Л. Маилян, Л.Р. Маилян, А.В. Шилов, М.Т. Абдаллах // Известия вузов. Строительство. – 1995. № 12. – С. 19–23.

3. Маилян, Л. Р. Механическая технология создания направленной ориентации фибр в линейных фибробетонных и фиброжелезобетонных элементах / Л. Р. Маилян, П. А. Шилов, А. А. Шилов // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 1-5. – DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-1-5. – EDN LLFNCV.

4. Маилян, Л. Р. Механическая технология создания плитных фибробетонных и фиброжелезобетонных элементов с направленной ориентацией фибр в двух направлениях / Л. Р. Маилян, П. А. Шилов, А. А. Шилов // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 6-10. – DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-6-10. – EDN ZCIRRE.

5. Матус, Е. П. Воздействие магнитного поля на структуру и свойства цементно-песчаного сталефибробетона : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матус Евгений Петрович. – Новосибирск, 2000. – 141 с. – EDN QDHINR.

6. Айвазян, Э. С. Технологии создания и методы расчета фибробетонных и фиброжелезобетонных элементов с агрегированным распределением волокон: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01; 05.23.08 / Э. С. Айвазян; РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2013. – 24 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.03.2023; одобрена после рецензирования 14.04.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.03.2023; approved after reviewing 14.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья
УДК 691.42 + 504.064.45 + 662.613.1
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_2_60

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛ УНОСА УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

© Авторы 2023
SPIN: 6213-1170
AuthorID: 622346

НЕМУЩЕНКО Дмитрий Андреевич
старший преподаватель кафедры инженерных проблем экологии
Новосибирский государственный технический университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru)

SPIN: 6583-0412
AuthorID: 108491
ScopusID: 6508047294

ЛАРИЧКИН Владимир Викторович
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный технический университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: larichkin@corp.nstu.ru)

Аннотация. Наиболее перспективным направлением утилизации золошлаковых отходов угольных электростанций является их применение в строительной индустрии. С целью оценки возможности использования отходов в качестве вторичного сырья для производства строительных изделий и для определения областей, в которых применение данного сырья может быть эффективным, проведены исследования отдельных физико-химических свойств. Определены химический, фазовый, гранулометрический состав, потери при прокаливании, связующая способность, радиационная безопасность, термические свойства зол уноса Новосибирских ТЭЦ. Проведена классификация исследованного техногенного сырья в соответствии с требованиями действующих нормативно-правовых актов. Предложены направления возможного применения сырья в строительных технологиях.

Ключевые слова: угольные электростанции; зола уноса; строительные материалы; переработка отходов; строительная индустрия

Для цитирования: Немущенко Д.А., Ларичкин В.В. Исследование зол уноса угольных электростанций как потенциального сырья для строительной индустрии // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 60-67. doi:10.51608/26867818_2023_2_60.

Original article

RESEARCH OF ASH WASTE FROM COAL-FIRED POWER PLANTS AS A POTENTIAL RAW MATERIAL FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY

© The Author(s) 2023

NEMUSCHENKO Dmitriy Andreyevich
Senior lecturer
Novosibirsk state technical university
(Russia, Novosibirsk, e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru)

LARICHKIN Vladimir Viktorovich
Doctor of sciences (engineering), professor
Novosibirsk state technical university
(Russia, Novosibirsk, e-mail: larichkin@corp.nstu.ru)

Abstract. The use of ash and slag waste from coal-fired power plants in the construction industry is the most promising direction for their utilization. The physical and chemical properties of wastes have been studied to assess the possibility of their use as a secondary raw material for the production of building products. The chemical, phase, granulometric composition, loss of ignition, binding property, radiation safety, thermal properties for fly ash from Novosibirsk thermal power plants were determined. The classification of the studied technogenic raw materials according to the requirements of the current regulatory legal acts was carried out. Directions for the use of raw materials in construction technology are proposed.



Keywords: coal-fired power plants; ash waste; construction materials; recycling; construction industry

For citation: Pichugin Nemuschenko D.A., Larichkin V.V. Research of ash waste from coal-fired power plants as a potential raw material for the construction industry // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 60-67. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_60.

Введение

К числу важнейших задач отрасли производства строительных материалов относится необходимость расширения сырьевой базы, полагаясь, прежде всего, на местные сырьевые материалы и твердые отходы промышленности. На электростанциях при сжигании угля образуются многотоннажные золошлаковые отходы (ЗШО), которые в основном гидротранспортом размещаются на золоотвалах. В зоне золоотвалов создается чрезвычайная экологическая ситуация из-за пылеобразования, инфильтрации токсичных компонентов ЗШО в почвенные горизонты и подземные воды. По данным Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области за 2018 год выход золошлаковых отходов на электростанциях г. Новосибирска составлял более 900 тыс. тонн, а площадь территорий, занятых под золоотвалы, составляла более 1000 га. К настоящему времени на полигонах накоплено более 30 млн. тонн смеси зол и шлаков.

Энергетической стратегией России до 2030 г. установлены индикаторы стратегического развития:

– доля угля в потреблении топлива тепловыми электростанциями России к 2030 г. должна увеличиться соответственно с 26 до 34-36 %;

– доля Восточных регионов страны (Канско-Ачинский бассейн, Восточная Сибирь, Дальний Восток) в общем объеме добычи угля увеличится с 33 % до 46-47 %;

– к 2030 году Сибирский федеральный округ будет устойчиво занимать первое место в России по добыче коксующегося и энергетического угля.

Для реализации Энергетической стратегии была утверждена Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики», согласно которой также планируется рост добычи и использования угля.

Известно [1-3], что по составу и физико-химическим свойствам ЗШО пригодны для производства строительных материалов и изделий самой широкой номенклатуры. В природоохранном законодательстве России действует ряд нижеперечисленных нормативно-правовых актов, регламентирующих применение ЗШО в строительстве:

– ГОСТ 25818-2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия»;

– ГОСТ 25592-2019 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия»;

– ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»;

– ГОСТ Р 57789-2017 «Золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей. Технические условия»;

– ОДМ 218.2.031-2013 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве».

Стандартами золошлаковое вторичное сырье не только классифицируется, но и устанавливаются диапазоны физико-химических характеристик для различных его применений в строительстве. В любых технологических приложениях для золошлакового сырья обязательно проведение контроля над содержанием природных радионуклидов, предусмотренное Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009), и отнесение ЗШО к пятому классу опасности для окружающей среды по Федеральному закону от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

Методология и результаты исследований

В работе объектами исследования являлись золы уноса сухого отбора от электрофильтров ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5 г. Новосибирска, образующиеся при сжигании бурого угля Канско-Ачинского угольного бассейна. В настоящее время особенно актуально проведение исследования свойств золы уноса ТЭЦ-5, которая в 2018 году была переведена с каменного угля кузнецкого бассейна на сжигание бурых углей Бородинского месторождения.

Для определения возможности использования зол уноса Новосибирских ТЭЦ как вторичного сырья при производстве строительных материалов был проведен ряд физико-химических исследований и анализ результатов на соответствие требованиям указанных выше нормативных документов.

На первом этапе ситовым методом определялся гранулометрический состав зол уноса. Полученные данные представлены на рис. 1.

Близкий гранулометрический состав зол уноса различных электростанций объясняется сходными режимами измельчения угля перед сжиганием. Как видно, в исследованных золах уноса преобладает фракция с размерами частиц от 0,04 до 0,1 мм – более 77 % в ТЭЦ-3 и более 74 % в ТЭЦ-5. Содержание частиц размером менее 1 мм составляет соответственно 99,96 и 99,99 %; частиц менее 0,315 мм содержится соответственно 98,78 и 98,49 %.

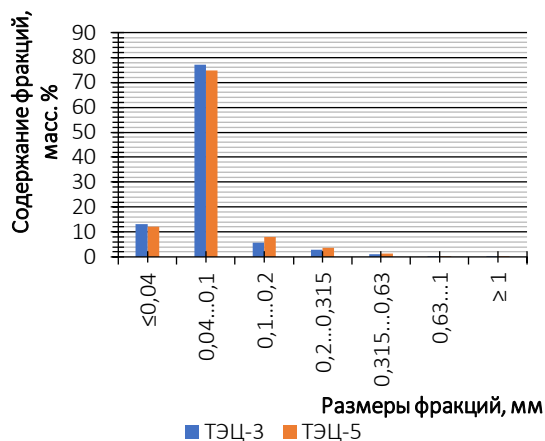


Рис. 1. Гранулометрический состав зол уноса Новосибирских ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5

После ситового анализа наиболее мелкодисперсную фракцию золы уноса ТЭЦ-3, прошедшую через сито с размером ячеек 40 мкм, подвергли гранулометрическому анализу на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц Analysette 22 NanoTec Plus (Fritsch). Результаты приведены на рис. 2.

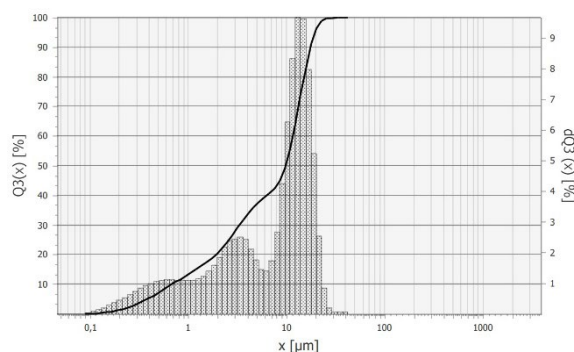


Рис. 2. Гранулометрический состав фракции золы уноса ТЭЦ-3 менее 40 мкм

Анализ показал следующее:

- модальное значение – 14,0 мкм;
- наименьший размер частиц около 100 нм, частиц размером менее 200 нм 1,3 %;
- 50,9 % частиц имеет размер менее 10 мкм, 90 % частиц имеют размеры менее 17,6 мкм.

Пользуясь классификацией глинистого сырья по ГОСТ 9169-2021 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация», предварительно можно отнести исследованные золы уноса к следующим категориям:

- по количеству крупнозернистых включений (более 0,5 мм) – со средним содержанием;
- по содержанию тонкодисперсной фракции – низкодисперсные (менее 10 мкм – 50,9 %, менее 1 мкм – 13,3 %).

По ГОСТ 25818-2017 золы уноса по показателю дисперсности относятся к **3 классу** (остаток на сите с размером ячеек 45 мкм свыше 40 %), т.е. допускается их применение в составе бетонов, за исключением бетонных и железобетонных конструкций, работающих в особо тяжелых условиях.

Для определения морфологических особенностей частиц сделан анализ зол уноса на электронном сканирующем микроскопе (рис. 3). Частицы золы в основном имеют шарообразную форму – остеклованные полнотелые и пустотелые частицы (микросферы), всплывающие на поверхность воды в условиях золоотвала при системе гидрозолоудаления с ТЭЦ. Среди шарообразных частиц встречаются и агрегаты неправильной формы. Процесс формирования микросфер в топочном пространстве и системе удаления дымовых газов неоднократно описывался исследователями, разработаны технологии применения микросфер в строительных материалах. Например, благодаря низкой плотности, приемлемой прочности, сферической форме, химической инертности, микросферы являются прекрасными наполнителями в полимерных материалах, лаках и красках, огнезащитных покрытиях [4-5; 14].

Зола уноса ТЭЦ-5 содержит около 0,1 масс. % полых микросфер – частиц, плотность которых меньше плотности воды, прокаленных при 1000 °С для удаления несгоревших остатков. Особенности химического состава и структуры микросфер изучались многими авторами, например [4; 6]. Микрофотография образца золы уноса ТЭЦ-3 показана на рис. 3.

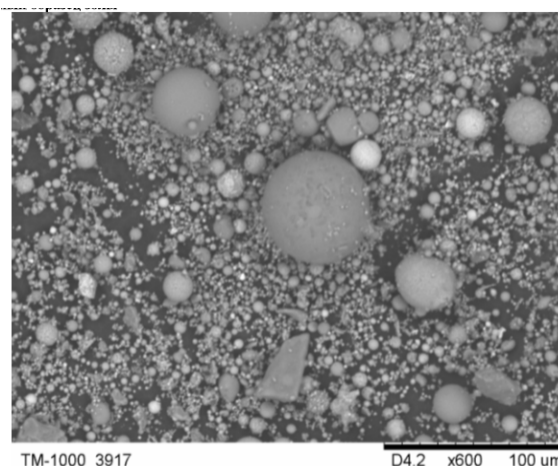


Рис. 3. Микрофотография образца золы уноса ТЭЦ-3

Для определения кристаллической структуры зол уноса проводили исследования отобранных проб на рентгеновском дифрактометре D8 Advance. В таблице 1 приведены основные кристаллические соединения, а рентгенограммы на рис. 4 и 5.



Таблица 1 – Содержание основных соединений в золах уноса ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5

№ п.п.	Соединение	Содержание, вес. %	
		ТЭЦ-3	ТЭЦ-5
1	CaO	14,20	16,54
2	SiO ₂	32,12	29,68
3	CaSO ₄	4,06	3,57
4	MgO	8,14	7,28
5	Fe ₃ O ₄	5,12	3,53
6	Ca ₃ Al ₂ O ₆	18,94	22,71
7	Ca ₂ FeAlO ₅	10,75	8,38
8	Ca ₂ SiO ₄	6,67	8,32

Видно, что в золах уноса преобладают окислы кальция и кремния, а также связанный кальций в составе сложных соединений с алюминием, железом и кремнием. По содержанию оксида кальция согласно ГОСТ 25818-17 «Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» данные золы относятся к группе **основных** (или высококальцевых) **зол** (>10% CaO), по виду сжигаемого топлива – **буроугольные**.

Содержание в золе уноса больших количеств оксида кальция полезно для строительных материалов, если этот химический элемент находится в связанном состоянии (силикаты, алюминаты и др.) и может быть нежелательным, если CaO в значительном количестве остается в свободном состоянии. Это порождает потенциальную нестабильность материалов, содержащих такие золы, связанную с длительной гидратацией при затворении. Определено, что большое содержание в золах уноса свободной окиси кальция вызывает самостоятельное твердение керамических масс на их основе, что исключает возможность формования изделий пластическим способом.

Значительная часть окиси кальция не является «свободной» (по ГОСТ 25818-17), т. е. химически активной, так как по результатам микроскопии можно видеть, что шарообразные частицы преимущественно покрыты расплавом (находятся в остеклованном виде). Такие частицы без механической обработки не гидратируются, например, в случае использования золы в технологиях получения бетона. Поэтому в каждом конкретном случае применения зол уноса, как компонента смеси для получения бетона, с учетом технологии предварительной подготовки золы, требуется контролировать содержание именно «свободной окиси кальция» с использованием методики, рекомендованной ГОСТ 23227-78. В работе [7] изложены различные способы устранения деструктивного влияния свободной окиси кальция, а именно – предварительное пропаривание золы, помол, ускоренное гашение свободной окиси кальция раствором хлористого кальция.

Для применения зол уноса в керамической технологии важно отметить содержание красящих оксидов. Данное техногенное сырье относится к группе с весьма низким содержанием красящих оксидов (сумма оксидов Fe₂O₃ + TiO₂ менее 1%). В золах уноса, рассмотренных ТЭЦ железо находится в форме закиси или в составе более сложных соединений (см. табл. 1), непосредственно Fe₂O₃ и TiO₂ не обнаружены, содержание Ti около 0,21% (см. табл. 3).

Значительная часть золы представлена аморфной составляющей.

Для оценки способности зол уноса проявлять вяжущие свойства принято оценивать следующие показатели (например, по рекомендациям [8]):

– модуль основности (гидросиликатный модуль):

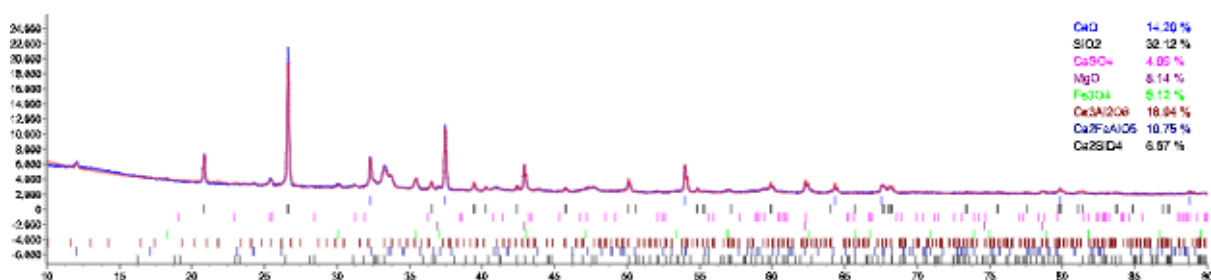


Рис. 4. Рентгенограмма золы уноса ТЭЦ-3

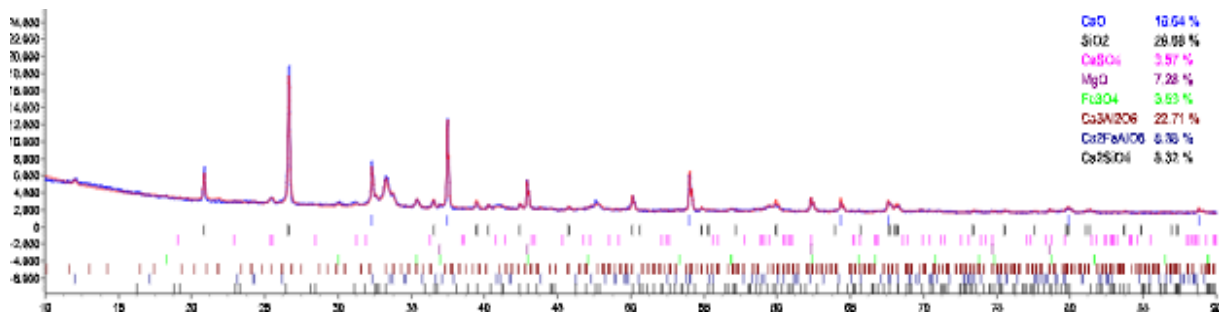


Рис. 5. Рентгенограмма золы уноса ТЭЦ-5



$$M_o = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3};$$

– силикатный (кремнеземистый) модуль:

$$M_c = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3};$$

– коэффициент качества, показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность, к оксидам, снижающим ее:

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2}.$$

Показатели, рассчитанные для исследованных зол, приведены в табл. 2. По модулю основности и силикатному модулю золы относятся к **акт ивным**, но по коэффициенту качества – к группе **скрыт о акт ивных**, которые могут применяться в качестве сырья для производства изделий, требующих интенсификации твердения.

Таблица 2. Показатели качества золы уноса

Источник золы уноса	Показатели качества		
	M_o	M_c	K
ТЭЦ-3	0,69	6,27	0,69
ТЭЦ-5	0,80	8,41	0,80

Определение потерь при прокаливании (п.п.п.) проводили аналогично ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний». Сущность метода заключается в прокаливании тиглей с навеской пробы до постоянной массы при температуре (1000 ± 50) °С. Среднее значение *потери массы при прокаливании* для золы уноса с ТЭЦ-3 составило 1,4 %, для ТЭЦ-5 – 1,7 %, это говорит о том, что в золе содержится незначительное количество несгоревших органических остатков. Согласно ГОСТ 25818-17 исследуемые золы относятся к *категории А*, так как потери составляют менее 2 %. Низкая величина п.п.п. позволяет использовать данное сырье в технологиях связанных с высокотемпературной обработкой.

Сравнение полученных данных химического анализа (по содержанию оксида кремния и кальция) и п.п.п. с требованиями ГОСТ Р 57293-2016 «Цемент общестроительный. Технические условия», показывает, что исследованные золы соответствуют требованиям при условии предварительной механоактивации в мельницах для повышения активности оксидов кальция и кремния. Следует отметить, что ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» в отличие от ГОСТ Р 57293-2016 (ЕН 197-1:2011) дополнительно регламентирует в золах уноса содержание не более 5 % MgO.

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) на приборе OPTIMA4300DV был определен элементный состав золы уноса ТЭЦ-3, см. табл. 3.

Таблица 3 – Элементный состав (выборочно) золы-уноса ТЭЦ-3

Элемент	Содержание в золе ТЭЦ-3, масс. %
Al	4,7
B	0,22
Ba	0,1
Ca	24,0
Co	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Cr	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Cu	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Fe	8,77
K	0,76
Li	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Mg	2,8
Mn	0,22
Mo	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Na	3,94
Ni	$7,0 \cdot 10^{-3}$
P	$4,0 \cdot 10^{-2}$
Si	13,7
Sr	0,16
Ti	0,21
V	$7,0 \cdot 10^{-3}$
Y	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Yb	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Zn	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Zr	$2,0 \cdot 10^{-2}$

В составе золы уноса ТЭЦ-3 не обнаружены благородные металлы (или их содержание ниже предела обнаружения), как, например, в отходах от сжигания углей месторождений Дальнего Востока [9-10]. Но в золе ТЭЦ-3 присутствуют редкоземельные элементы в концентрациях, позволяющих оценить их как потенциальное сырье для горно-перерабатывающей промышленности. Исследователями [11-12] неоднократно высказывалось мнение, что золошлаковые отходы необходимо рассматривать как сырье для выделения редкоземельных металлов, т. к. разведанные промышленно-значимые месторождения таких элементов практически не разрабатываются из-за низкой рентабельности добычи. В подтверждение можно сравнить содержание отдельных редкоземельных элементов в золе ТЭЦ-3 (см. табл. 4) со средним содержанием в земной коре и ориентировочными кондициями на добываемое сырье, пересчитанными на чистый металл.

Таблица 4 – Некоторые редкоземельные элементы в золе уноса ТЭЦ-3

Элемент	Содержание в золе ТЭЦ-3, масс. %	Среднее содержание в земной коре, масс. %	Промышленно значимые концентрации (кондиции), масс. %
B	0,22	$4,0 \cdot 10^{-3}$	1,0...4,0
Mo	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,1...0,5
Sr	0,16	$1,4 \cdot 10^{-2}$	1,7...5,1
Yb	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	-



С целью изучения физико-химических процессов, протекающих в зольных материалах при их нагревании, проводился дифференциально-термический анализ.

На кривой ДТА (рис. 6) наблюдается широкий экзотермический пик в диапазоне температур около 450-500 °С, два существенных эндотермических эффекта при ~250 и ~350 °С и один незначительный эндотермический эффект при ~80 °С, который связан видимо с удалением воды, адсорбированной развитой поверхностью частиц. Экзотермический эффект связан, в первую очередь, с выгоранием ооксованных органических остатков. Также, в связи с тем, что потери при прокаливании золы ТЭЦ-3 незначительные (1,4 %), можно предположить, что в этом интервале температур происходят полиморфные превращения кристаллических соединений кальция (см. табл. 1).

Согласно СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» для отходов промышленности, являющихся сырьем для изготовления строительных материалов, контролируется эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{эфф}$, Бк/кг). Этот параметр $A_{эфф}$ определяется по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,09 \cdot A_K,$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_K – удельные активности изотопов радия, тория и калия, Бк/кг.

Измерения активности были выполнены на спектрометрическом комплексе УСК «Гамма-Плюс» с блоком детектирования СБДГ-01. Результаты приведены в таблице 5. Зола уноса ТЭЦ-3 относится к I классу по нормам радиационной безопасности ($A_{эфф} \leq 370$ Бк/кг) и пригодна для любых видов строительных материалов.

Для определения связующей способности зол уноса проводили испытания на определение предела прочности при сжатии и изгибе согласно ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии». Для этого изготавливали образцы-балочки, где в качестве связующих использовали портландцемент ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б и золы уноса.

Таблица 5 – Результаты измерения удельной активности радионуклидов в золе уноса ТЭЦ-3

Радионуклиды	Ед. изм.	Удельная активность радионуклидов
^{226}Ra	Бк/кг	222,08
^{232}Th	Бк/кг	34,82
^{40}K	Бк/кг	159,84
$A_{эфф.} + \Delta$	Бк/кг	291

Установлено, что образцы, сформованные с использованием в качестве связующего только зол уноса ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5, не выдерживают испытаний.

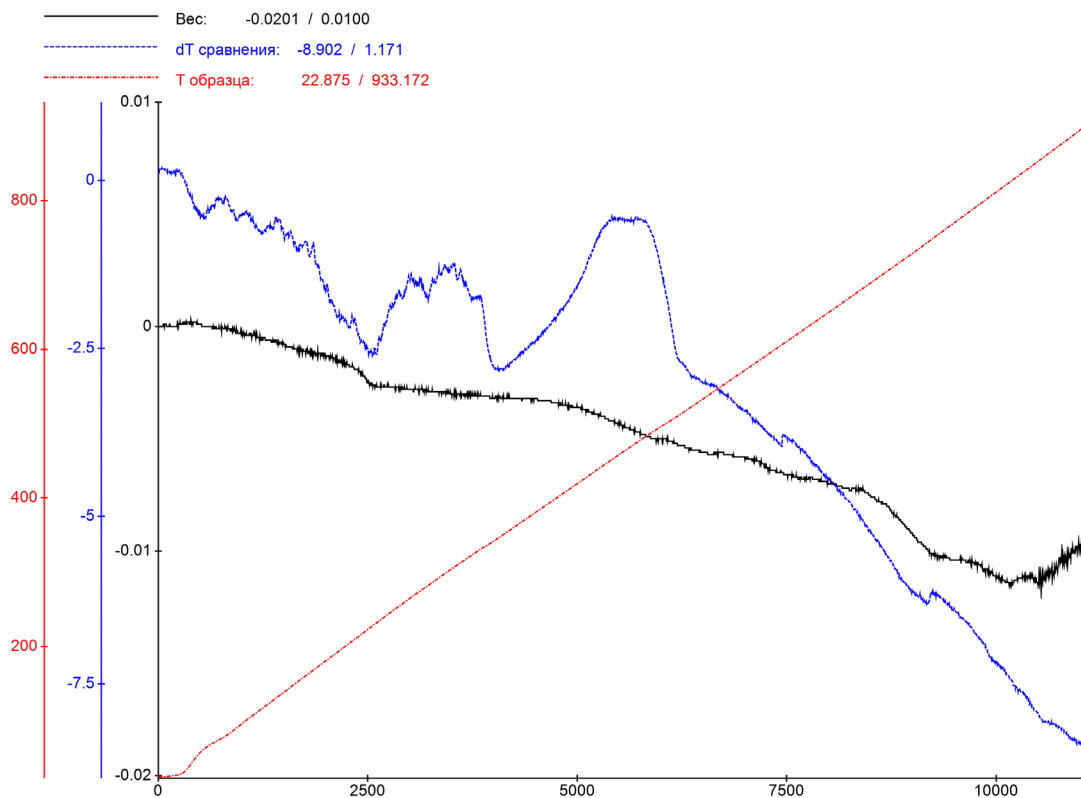


Рис. 6. Термограмма золы уноса ТЭЦ-3: линия красного цвета – изменение температуры, °С



При замене части цемента (50 %) золой уноса ТЭЦ-3, прочность при сжатии в 1,3 раза меньше прочности контрольного образца, где в качестве связки используется только портландцемент. При замене части цемента (50 %) золой ТЭЦ-5, предел прочности при сжатии уменьшается в 5,4 раза в сравнении с контрольным образцом.

Выводы

1. Зола уноса ТЭЦ-3 может служить заменой части цемента в строительных растворах, а на основе зол уноса ТЭЦ-5 рекомендуется изготавливать бетонные растворы для низкотемпературных изделий.

2. Показано, что зола может использоваться в качестве замены части связующего и/или являться наполнителем в составе бетонов, а также в рецептурах при производстве стеновой и облицовочной керамики.

3. Золой могут применяться при производстве цемента, при осуществлении требуемой по технологии подготовки.

4. Установлено, что исследованное вторичное сырье безопасно по радиационному фактору.

Заключение

Более ранними исследованиями по результатам анализа многочисленных проб зол уноса Барнаульской, Новосибирской и Назаровской ТЭС, сжигающих в смеси угли трех месторождений Канско-Ачинского бассейна (Назаровский, Ирша-Бородинский, Березовский), установлены значительные колебания оксидного состава [13]. Коэффициент вариации содержания SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , SO_3 составляет 17-23 %, свободного CaO достигает 34 %. Соответственно, при использовании этих зол в технологиях получения материалов необходимо организовывать эксперимент так, чтобы пробами обеспечить максимальное перекрытие полей состава. В работе по результатам анализа построена диаграмма возможного химического состава зол уноса (рис. 7). Нестабильность химического состава зол сухого отбора Новосибирской ТЭЦ-3 отмечается также авторами работы [7], которые проанализировали результаты валового химического анализа проб зол уноса, отобранных с февраля по октябрь одного года.

На электростанциях сжигаются угли различных разрезов угольного месторождения, в течение года могут меняться соотношения углей разрезов в топливном балансе станции. Химический состав зол также зависит от геометрии рудного тела и глубины залегания, технологий обогащения, режимов сжигания угля на станции и др. Гранулометрический состав меняется при изменении технологии измельчения топлива на станции, зависит от места отбора золы в системе удаления отходящих газов (циклоны, поля электрофильтров).

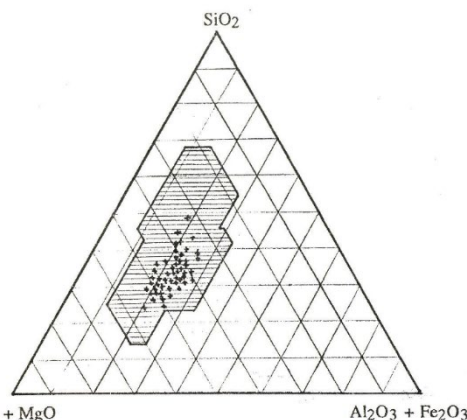


Рис. 7. Вариация химического состава зол углей КАТЭК [13]:

+ – химический состав исследованных проб, штриховка – область возможного химического состава

Следует отметить важные изменения в государственной политике (например, Распоряжение Правительства РФ от 15 июня 2022 г. № 1557-р «Об утверждении комплексного плана по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности») и политике генерирующих организаций, направленной на создание условий для утилизации ЗШО.

В частности, ООО «Сибирская генерирующая компания», эксплуатирующая в том числе Новосибирские ТЭЦ, утвердила технические условия и технологические регламенты, в которых установлены критерии оценки качества зол уноса сухого отбора и золошлаковых материалов, находящихся на золоотвалах. Несомненно, что соблюдение требований указанных документов должно привести к повышению стабильности показателей качества вторичного сырья и позволит активнее использовать его в производстве строительных материалов.

Библиографический список

1. Костин В. В. Опыт использования отходов ТЭС в производстве строительных материалов. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 40 с.
2. Худякова, Л. И. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций / Л. И. Худякова, А. В. Залуцкий, П. Л. Палеев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2019. – Т. 4, № 3(15). – С. 375-391. – DOI 10.21285/2500-1582-2019-3-375-391. – EDN HSWLIW.
3. Технологические возможности использования отходов теплоэнергетики в сельском строительстве / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. Ю. Кудряшов, Е. Г. Пименов // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 2(20). – С. 14-21. – EDN UQFRZG.
4. Логанина, В. И. Использование золных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки / В. И. Логанина, М. В. Фролов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 3. – С. 6-8. – DOI 10.12737/24623. – EDN YGJCQR.



5. Польные микросферы в золах уноса электростанций: сборник научных статей / под ред. В. С. Дрожжина. – Саров: РФЯЦ–ВНИИЭФ, 2009. – 125 с.

6. Физико-химическое исследование золошлаковых отходов / А. А. Ведягин, И. В. Мишаков, Б. М. Хлебников [и др.] // Энциклопедия инженера-химика. – 2008. – № 10. – С. 21-26. – EDN RXJEBZ.

7. Костин В. В. Применение зол и шлаков ТЭС в производстве бетонов. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 176 с.

8. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / сост. Е.И. Путилин, В.С. Цветков, ФГУП «СОЮЗДОРНИИ». – М., 2003. – 57 с.

9. Черепанов, А. А. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) / А. А. Черепанов, В. Т. Кардаш // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2009. – № 2(16). – С. 98-115. – EDN KVZIYV.

10. Исследование возможностей комплексной переработки отходов предприятий энергетики Приморского

края / Е. И. Шамрай, А. В. Таскин, С. И. Иванников, А. А. Юдаков // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 68-75. – EDN YIZVMJ.

11. Прохоров К. В., Александрова Т. Н. Особенности распределения редкоземельных элементов в продуктах переработки тонкодисперсного материала техногенного характера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – С 200-208.

12. Определение промышленно значимых кондиций редких элементов в золошлаковых отходах Кузбасса / Т. Г. Черкасова, И. В. Исакова, А. В. Тихомирова [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 5(147). – С. 37-44. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44. – EDN YLCSTQ.

13. Овчаренко Г. И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г. И. Овчаренко, Л. Г. Плотникова, В. Б. Францен. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 149 с.

14. Зырянов В. В., Зырянов Д. В. Зола носа – техногенное сырье. – М.: ООО «ИПЦ “Маска”», 2009. – 320 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 26.04.2023; одобрена после рецензирования 24.05.2023; принята к публикации 24.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 26.04.2023; approved after reviewing 24.05.2023; accepted for publication 24.05.2023.



Научная статья
УДК 691.535
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_2_68

КИНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ

© 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: 7431-8742
AuthorID: 131100

КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна
кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск)

SPIN: 2463-0321
AuthorID: 666525

Седова Анна Алексеевна
кандидат химических наук, доцент, кафедра аналитической химии
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск)

Аннотация. Изучено взаимодействие некоторых минеральных кислот, с наполненным цементным композитом, где в качестве наполнителя использовались цеолитсодержащие породы. Посредством статического контакта фаз проведен термодинамический и кинетический анализ системы «цементный камень – кислота». По термодинамическим константам равновесия и константам скорости реакции сделан вывод о глубине и скорости протекания коррозии цементного камня в зависимости от количества наполнителя и природы кислоты.

Ключевые слова: цементный камень; кинетика; цеолитсодержащие породы; энтальпия; энтропия; функция Гиббса; константа равновесия и скорости; прочность; строительные материалы

Для цитирования: Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Седова А.А. Кинетический анализ химического сопротивления наполненных цементных композитов действию минеральных кислот // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 68-74. doi:10.51608/26867818_2023_2_68.



Original article

KINETIC ANALYSIS OF THE CHEMICAL RESISTANCE OF FILLED CEMENT COMPOSITES
TO THE ACTION OF MINERAL ACIDS

© 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)

KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna

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

SEDOVA Anna Alekseevna

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

Abstract. The paper studies the interaction of some mineral acids with a filled cement composite, where zeolite-containing rocks were used as a filler. Thermodynamic and kinetic analysis of the "cement stone – acid" system was carried out by means of static phase contact. According to the thermodynamic equilibrium constants and the reaction rate constant, the conclusion is made about the depth and rate of corrosion of cement stone, depending on the amount of filler and the nature of the acid.

Keywords: cement stone; kinetics; zeolite-containing rocks; enthalpy; entropy; Gibbs function; equilibrium and velocity constant; strength; building materials

For citation: Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I., Sedova A.A. Kinetic analysis of the chemical resistance of filled cement composites to the action of mineral acids // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 68-74. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_68.

Цементные бетоны, как и другие композиционные материалы, должны быть оптимально наполненными на микро-и макроуровнях. При максимальном наполнении на макроуровне (до 80-90 % объема) микроструктура представляет собой в большинстве случаев наполненное цементное вяжущее. Введение наполнителей в цементы нужно рассматривать как необходимое условие снижения клинкеро- и энергоемкости бетонов и повышения их физико-технических свойств. Для оптимально наполненных цементов необходимо выбирать наполнители определенной поверхностной активности, участвующие в организации кластерных структур. Актуальной остается задача получения долговечных строительных материалов с повышенным химическим сопротивлением при пониженных расходах цемента. Одним из эффективных способов экономии цемента при изготовлении растворов и бетонов является замена части цемента наполнителями [1]. Применяя различные наполнители можно получать бетоны с заранее за-

данными эксплуатационными свойствами, в том числе и повышенной стойкости при воздействии агрессивных сред.

Широкое применение в производстве строительных композитов находят цеолитсодержащие породы (ЦСП), которые наряду с экономией цемента на 20-30 %, позволяют улучшить ряд свойств бетонов. Значительно повышается коррозионная стойкость, морозостойкость, прочность [3-5].

Целью настоящей работы являлось изучение процессов взаимодействия цементного камня наполненного ЦСП с растворами минеральных кислот различной концентрации. Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий. Кислотная среда может возникнуть также при конденсации на поверхности конструкций влаги, если в атмосфере содержатся ионы кислот. Поэтому задача изучения процессов происходящих при кислотной коррозии бетона является актуальной и ее решение даст возможность повы-



ситель долговечность железобетонных конструкций [2].

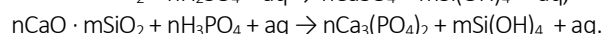
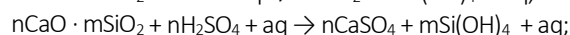
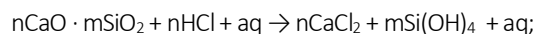
Исследования проводились по следующей методике: готовые образцы (не менее пяти) массой $\approx 17,5$ г., на цементном связующем М400, со степенью наполнения 10, 20, 30 % ЦСП от массы цемента, помещали в емкости с растворами хлористоводородной, серной и фосфорной кислот, с концентрацией 1, 2, 3 %, объемом 350 мл и выдерживали 7, 14, 28 суток. После экспонирования композиты извлекали из раствора, подсушивали на воздухе на фильтровальной бумаге для удаления лишней жидкости и затем испытывали на прочность при сжатии. Фильтрат анализировали на содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} методом ионной хроматографии на ионном анализаторе PIA – 1000. Элементный анализ осадков, выделенных из цементного камня в процессе экспонирования в растворах кислот, определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре ARL «Porfomet» и энергодисперсным рентгеновским методом. Кислотность растворов контролировали с помощью рН-метра «Эксперт – рН».

Таблица 1 – Динамика изменения рН среды при выдерживании цементного камня в растворах кислот в течении 28 суток

Кислота	Концентрация кислоты, %	рН наступившего равновесия	т, сутки	Степень наполнения ЦСП, %
HCl	1	11,0	6	20
	2	10,5	16	
	3	10,0	20	
H ₂ SO ₄	1	3,5	20	20
	2	3,2	23	
	3	2,5	25	
H ₃ PO ₄	0,5	4,8	5	20
	1,5	4,0	6	
	2,5	3,8	8	

В результате обработки экспериментальных данных, приведенных в таблице 1, установлен вид и характер кинетических зависимостей рН раствора от времени экспонирования цементного камня в агрессивной среде. Из анализа экспериментальных данных следует, что наступление равновесия в системе «цементный камень – кислота» зависит от природы и концентрации кислоты. В растворах хлористоводородной кислоты равновесие наступает при высоких значениях рН 10-11 на 15-20 сутки. В растворах серной и фосфорной кислот равновесие наступает при низких значениях рН. В серной кислоте рН $2,5 \div 3,5$ через 20-22 суток. В растворах фосфорной кислоты рН $4,0 \div 5,0$ через 5-8 суток.

Химический процесс взаимодействия цементного камня с минеральными кислотами можно в общем виде описать уравнениями реакций:



При низких значениях рН возможно образование кислых солей кальция с фосфорной кислотой $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; CaHPO_4 .

При контакте цементного камня с водой составные части его могут растворяться и вымываться водой. Наиболее легко растворимым продуктом гидратации цемента является гидроксид кальция, выщелачивание которого ведет к гидролизу цементного клинкера.

В зависимости от природы кислоты в процессе реакции с гидроксидом кальция образуются разные соли. Скорость разрушения цементного камня будет зависеть от растворимости солей кальция. При большой растворимости солей быстрее протекает разрушение цементного камня. Если продукты реакции малорастворимые то, при взаимодействии на поверхности бетона они закупоривают поры и закрывают доступ агрессивной среды к внутренним слоям цементного камня и замедляют скорость коррозии.

При взаимодействии цементного камня с HCl образуется растворимая соль CaCl_2 , которая не полностью нейтрализуется кислотой и поэтому равновесие в системе наступает при высоких значениях рН $10 \div 11$. Образовавшийся гель кремниевой кислоты заполняет поры бетона и закрывает доступ HCl к внутренним слоям бетона. Из табл. 1 видно, что равновесие в системе «цементный камень – HCl» зависит от концентрации HCl.

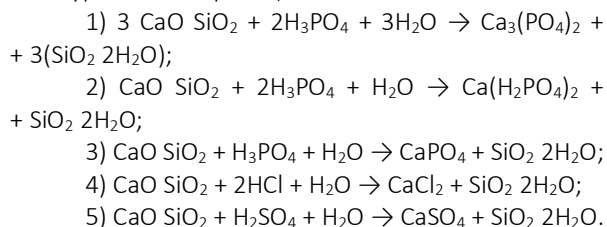
При взаимодействии цементного камня с H_2SO_4 образуется CaSO_4 и гель кремниевой кислоты. Независимо от концентрации кислоты равновесие в системе «цементный камень – H_2SO_4 » устанавливается медленно (табл. 1) при низких значениях рН $3,5 \div 2,5$. Принято считать, что кристаллизация гипса в порах бетона вызывает напряжение в стенках пор капилляров и приводит к разрушению структурных элементов бетона.

При взаимодействии фосфорной кислоты с цементным камнем образуется малорастворимый фосфат кальция и гель кремниевой кислоты, которые остаются на поверхности бетона, заполняют поры бетона и закрывают доступ агрессивной среды к внутренним слоям и замедляют скорость коррозии. Равновесие в системе «цементный камень – H_3PO_4 » наступает быстрее (табл. 1).

Для сравнительной характеристики действия минеральных кислот: HCl, H_2SO_4 , H_3PO_4 на цементный камень, наполненный ЦСП, проведен термодинамический и кинетический анализ изучаемых систем, рассчитаны изменения функции Гиббса, константы равновесия и скорости реакции [6-7]. Реакция, для которой константа равновесия велика, практически



протекает до конца. При малой ее величине реакция почти не идет и ее можно не принимать во внимание. В настоящей работе проведен термодинамический анализ взаимодействия цементного камня с фосфорной, серной, соляной кислотами по химическим уравнениям реакций:



Изменение функции Гиббса при температуре 298 К рассчитывали используя справочные данные по уравнениям:

$$\Delta_r G^\circ_{298} = \sum_j \Delta_f G^\circ_{298}(\text{прод.}) - \sum_i \Delta_f G^\circ_{298}(\text{исх.}) \quad (1)$$

$$\Delta_r H^\circ_{298} = \sum_j \Delta_f H^\circ_{298}(\text{прод.}) - \sum_i \Delta_f H^\circ_{298}(\text{исх.}) \quad (2)$$

$$r\Delta G^\circ_\tau = \Delta_r H^\circ_\tau - T\Delta_r S^\circ_\tau. \quad (3)$$

Справочные величины представлены в табл. 2, где указаны исходные вещества, предполагаемые продукты реакции и их термодинамические функции.

Таблица 2 – Стандартные энтальпии и энтропии образования веществ при 298 К

Соединение	$-\Delta_f H^\circ_{298}$, кДж/моль	S°_{298} , Дж/(моль·К)	$-\Delta_f G^\circ_{298}$, кДж/моль
$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\text{тв})$	1636,03	81,98	1550,75
$\text{H}_3\text{PO}_4(\text{тв})$	1279,9	110,5	1119,856
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{тв})$	4123,6	236,1	1887,4
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)(\text{тв})$	3106,77	191,04	2811,8
$\text{CaHPO}_4(\text{тв})$	1815,61	111,45	1682,38
$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{тв})$	1480,0	200,18	1333,86
$\text{HCl}(\text{г})$	92,36	186,915	95,359
$\text{CaCl}_2(\text{тв})$	795,0	113,6	750,2
$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ж})$	814,8	157,01	690,751
$\text{CaSO}_4(\text{тв})$	1435,07	106,8	1322,74
$\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$	285,83	70,08	237,25

Изменение функции Гиббса в расчетах по формулам (1– 3) получились примерно равными. Для вычисления константы равновесия взяты средние значения функции Гиббса.

Константу равновесия K_p рассчитывали по уравнению

$$K_p = \exp\left(-\frac{\Delta G}{RT}\right)$$

$$1) K_p = \exp\left(-\frac{-285505}{8,314 \cdot 298}\right) = 1,12 \cdot 10^{50}$$

$$2) K_p = \exp\left(-\frac{-114230}{8,314 \cdot 298}\right) = 1,15 \cdot 10^{20}$$

$$3) K_p = \exp\left(-\frac{-108430}{8,213 \cdot 298}\right) = 1,01 \cdot 10^{19}$$

$$4) K_p = \exp\left(-\frac{-105950}{8,314 \cdot 298}\right) = 3,72 \cdot 10^{18}$$

$$5) K_p = \exp\left(-\frac{-177820}{8,314 \cdot 298}\right) = 1,48 \cdot 10^{31}$$

Все полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Энтальпия, энтропия, функция Гиббса и константы равновесия для реакций (1–5). T=298 К

Среда	Продукты реакции	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/моль·К	ΔG , кДж/моль	K_p
H_3PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3(\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$	-238,22	159,46	-285,50	$1,12 \cdot 10^{50}$
H_3PO_4	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-105,11	18,16	-114,23	$1,15 \cdot 10^{20}$
H_3PO_4	$\text{CaHPO}_4 + \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-93,85	49,07	-108,43	$1,01 \cdot 10^{19}$
HCl	$\text{CaCl}_2 + \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-199,75	-212,11	-105,95	$3,72 \cdot 10^{18}$
H_2SO_4	$\text{CaSO}_4 + \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-178,71	-2,09	-177,82	$1,48 \cdot 10^{31}$

Из проведенного термодинамического анализа сделаны следующие выводы:

а) изменение величины функции Гиббса во всех случаях характеризуется отрицательной величиной, что говорит о возможности самопроизвольного протекания химической реакции и о том, что составная часть изучаемой системы при заданных условиях неустойчива;

б) численное значение константы равновесия позволяет судить о глубине протекания химической реакции. Чем больше константа равновесия, тем глубже в прямом направлении протекает реакция. Из табл. 3 видно, что наиболее глубоко будет протекать реакция с фосфорной кислотой с образованием ортофосфата кальция.

Для определения скорости реакции взаимодействия в системе «цементный камень – кислота» за основу взяты экспериментальные данные изменения концентрации ионов водорода во времени. При постоянном объеме системы изменение концентрации компонента в единицу времени равно:

$$\omega = kc^n, \quad (4)$$

Прежде всего определим порядок реакции – n, а затем константа скорости реакции – k. Для этого представили уравнение (4) в логарифмическом виде:

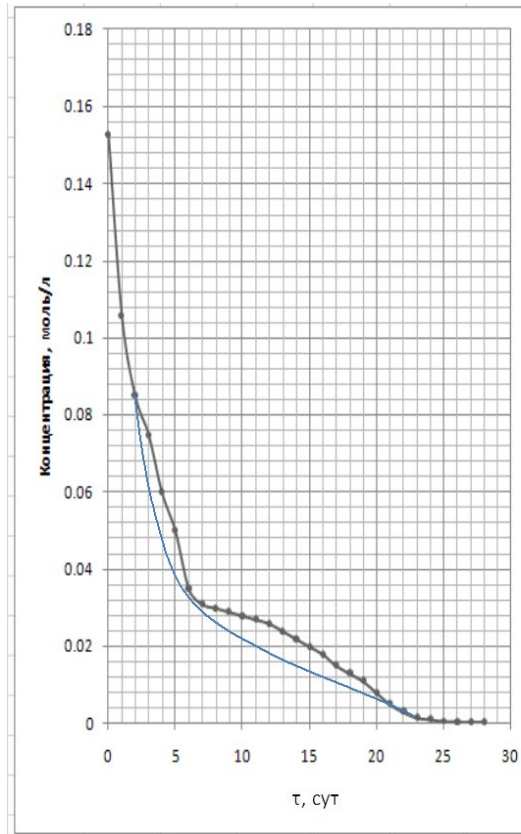
$$\ln \omega = \ln k + n \cdot \ln c. \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что определение порядка реакции сводится к построению графической зависимости $\ln \omega = f(\ln c)$.

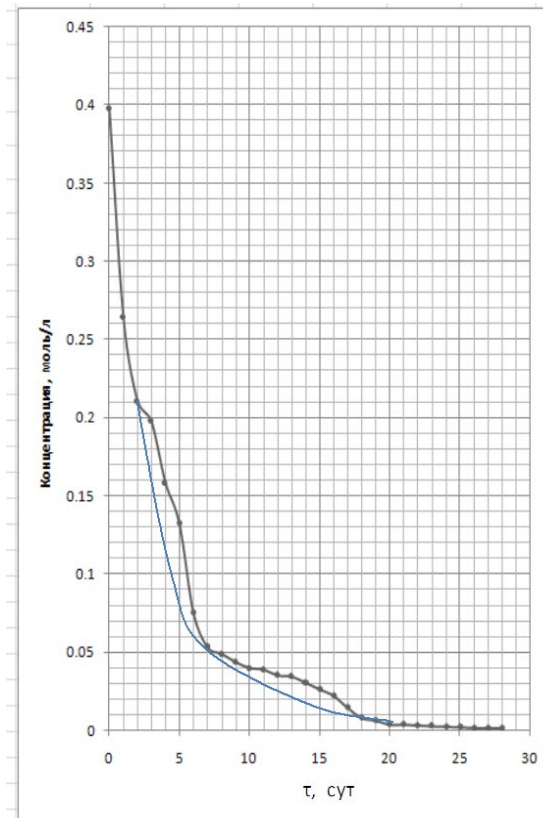
Значения скоростей реакции определяли методом дифференцирования кинетической кривой. По найденным значениям ω_i и c_i строим график $\ln \omega_i = f(\ln c_i)$ и находим порядок реакции и константу скорости. Для примера представлены значения (ω_i , c_i , $\ln \omega$, $\ln c$) для серной кислоты с массовой долей 1,0 % и 3,0 %. (табл. 4, рис. 1, 2). Аналогичные зависимости получены для H_3PO_4 с массовой долей 1,5 % и 2,5 % (табл. 5).

Из проведенного кинетического анализа можно сделать следующие выводы:

а) порядок реакции для систем «цементный камень – фосфорная кислота» и «цементный камень – серная кислота» равен единице;



а) 1,0 %-я серная кислота



б) 3,0 %-я серная кислота

Рис. 1. Зависимости $C = f(t)$ для серной кислоты

Таблица 4 – Значение ω_i , c_i , $\ln \omega$, $\ln c$ для серной кислоты

концентрация 1,0 %					
t, сутки	c	$\omega = -\Delta c / \Delta t$	c_i	$\ln \omega$	$\ln c_i$
0	0,1528	0,0469	0,12935	-3,06	-2,04
1	0,1059	0,0209	0,0955	-3,87	2,34
2	0,0851	0,0049	0,08265	-5,32	-2,49
9	0,0309	0,0019	0,02995	-6,27	-3,51
11	0,0288	0,0015	0,02805	-6,5	-3,57
18	0,0066	0,0014	0,0059	-6,57	-5,13
21	0,0019	0,0003	0,00175	-8,112	-6,35
22	0,0016	0,0001	0,00155	-9,21	-6,47
концентрация 3,0 %					
t, сутки	c	$\omega = -\Delta c / \Delta t$	c_i	$\ln \omega$	$\ln c_i$
0	0,3981	0,1339	0,3311	-2,011	-1,11
1	0,2642	0,0533	0,2375	-2,932	-1,44
3	0,1977	0,0392	0,1781	-3,239	-1,73
4	0,1585	0,0264	0,1453	-3,634	-1,93
6	0,0752	0,0180	0,0642	-4,017	-2,75
8	0,0490	0,0065	0,0464	-5,040	-3,07
9	0,0437	0,0037	0,0418	-5,599	-3,17
11	0,0388	0,0029	0,0370	-5,827	-3,30
19	0,0062	0,0015	0,0049	-6,515	-5,31
21	0,0036	0,0009	0,0033	-7,009	-5,70
22	0,0031	0,0007	0,0029	-7,209	-5,86
24	0,0023	0,0004	0,0021	-7,824	-6,17
25	0,0019	0,0004	0,0017	-7,824	-6,38
26	0,0015	0,0002	0,0014	-8,517	-6,57

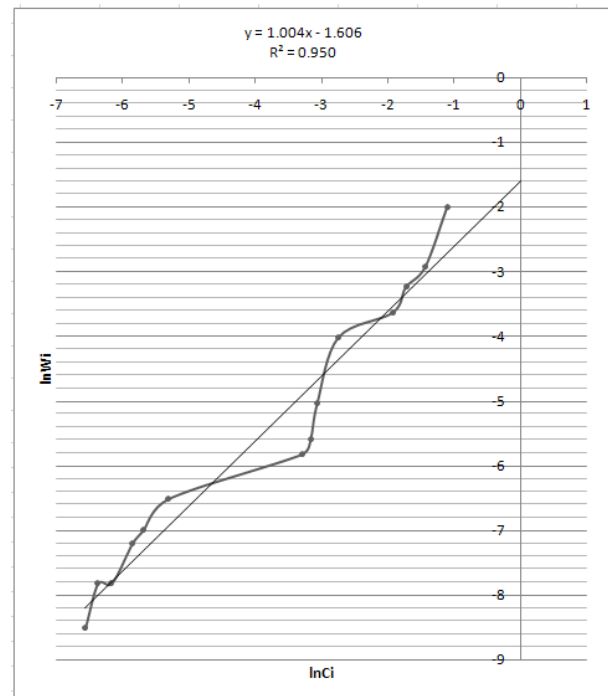


Рис. 2. График зависимости $\ln \omega = f(\ln C)$: для серной кислоты с $\omega = 3,0 \%$; $n = \text{tg} \alpha = 1$; по отрезку, отсекаемому на оси ординат определяли $\lg k = -1,606$; $k = 0,201 \text{ сут}^{-1}$; для серной кислоты с массовой долей 1,0 % $n = \text{tg} \alpha = 1$; $\lg k = -1,888$; $k = 0,151 \text{ сут}^{-1}$



Таблица 5 – Значения констант скорости и порядок реакции в системах «цементный камень – кислота»

Система	Концентрация кислоты, %	Порядок реакции n	Константа скорости k , сут ⁻¹
Цементный камень – серная кислота	1,0	1	0,151
	3,0	1	0,201
Цементный камень – фосфорная кислота	1,5	1	0,788
	2,5	1	1,340

б) константа скорости для системы «цементный камень – фосфорная кислота» намного выше, чем для системы «цементный камень – серная кислота». Это говорит о том, что коррозия бетона в растворе фосфорной кислоты проходит быстрее, чем в серной.

Прочность на сжатие цементных композитов определялась по величине разрушающей нагрузки. Результаты испытаний на прочность после экспонирования в модельных растворах кислот представлены в таблице 6. Экспериментальные данные свидетельствуют, что наибольшую прочность на сжатие показали образцы выдержанные в растворах фосфорной кислоты. Наименьшей прочностью обладают образцы, выдержанные в модельных растворах H_2SO_4 . Прочность цементных композитов зависит от природы кислоты, ее концентрации, времени контакта цементного камня с агрессивной средой, от степени наполнения ЦСП. Ортофосфорная кислота образует малорастворимый фосфат кальция. Фосфат кальция и гель кремниевой кислоты почти полностью остаются в порах бетона, вызывая их частичное закупоривание (кольматацию), что приводит к замедлению процесса коррозии бетона (самотормозящий процесс). Чем больше образуется фосфата кальция и геля кремниевой кислоты, тем плотнее и менее проницаемым становится бетон для ионов кальция, тем сильнее тормозится процесс коррозии во времени [8]. Именно об этом свидетельствует вычисленная константа скорости реакции.

По мере выдерживания цементного камня в растворах серной кислоты так же происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов в порах бетона $CaSO_4$ и геля кремниевой кислоты. Кристаллизация гипса в порах бетона создает внутреннее напряжение. Бетон разрушается из-за давления кристаллов гипса (гипсовая коррозия). Поэтому композиты после экспонирования в растворах серной кислоты обладают низкой прочностью на сжатие, даже ниже, чем после выдерживания в растворах соляной кислоты. Увеличение степени наполнения композитов цеолитсодержащей породой в больших концентрациях (25-30 %) приводит к снижению прочности на сжатие. При любых видах кислотной

агрессии рекомендуется использовать не более 10-15 % активных минеральных добавок осадочного происхождения, которые повышают водопотребность бетона.

Таблица 6 – Результаты определения средней прочности на сжатие после экспонирования цементного камня в модельных растворах кислот через 28 суток

$C(H_3PO_4) = 0,5\%$		$C(H_3PO_4) = 1,5\%$		$C(H_3PO_4) = 2,5\%$	
ЦСП, %	$\bar{R}_{сж}$, МПа	ЦСП, %	$\bar{R}_{сж}$, МПа	ЦСП, %	$\bar{R}_{сж}$, МПа
0	61,96	0	52,57	0	41,83
10	55,37	10	48,80	10	47,96
20	53,75	20	42,69	20	44,00
30	55,02	30	38,68	30	35,02
$C(H_2SO_4) = 1,0\%$		$C(H_2SO_4) = 2,0\%$		$C(H_2SO_4) = 3,0\%$	
10	26,4	10	25,0	10	24,4
20	25,8	20	23,0	20	17,2
30	24,7	30	20,1	30	16,5
$C(HCl) = 1,0\%$		$C(HCl) = 2,0\%$		$C(HCl) = 3,0\%$	
10	29,7	10	25,3	10	26,5
20	26,1	20	23,6	20	26,1
30	20,9	30	19,4	30	17,3

Таким образом, экспериментальные данные по изучению воздействия минеральных кислот: H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 на цементный камень, наполненный ЦСП на 10, 20, 30 %, позволили сделать вывод, что наиболее агрессивной по отношению бетону является серная кислота. Менее агрессивной является ортофосфорная кислота, за счет образования малорастворимого фосфата кальция и геля кремниевой кислоты, что приводит к замедлению коррозии бетона (самотормозящий процесс).

Библиографический список

1. 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.
2. Москвин В.М., Иванов А.М., Алексеев С.Н. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 533 с.
3. Влияние цеолитсодержащих наполнителей на прочность и пористость цементных композитов / В. П. Селяев, В. А. Неверов, Л. И. Куприяшкина, П. В. Селяев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 6(666). – С. 36-43. – EDN SXHLOB.
4. Изучение процессов повреждения цементного камня растворами карбоновых кислот / А. А. Седова, В. М. Иванов, В. П. Селяев [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2014. – Т. 55, № 5. – С. 301-307. – EDN SSIYBF.
5. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитсодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты / В. П. Селяев, А. А.



Седова, Л. И. Куприяшкина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 7(667). – С. 32-38. – EDN SZGIBV.

6. Краткий справочник физико-химических величин. Издание 10, испр. и дополн. / под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой – СПб.: «Иван Федоров». 2003. – 240 с.

7. Бузулуков В.И. Лабораторный практикум по физической химии: Химическая кинетика. – Саранск.: Изд-во Мордов. ун-та. 2004. – 80 с.

8. Рахимбаев Ш.М. Процессы кольматации при химической коррозии цементных систем. Физическая модель // Бетон и железобетон. - 2013. - №4. – С. 30-32.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья
УДК 691.327 + 666.973 + 539.4
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_2_75

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПРЕССОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

© Авторы 2023
SPIN: 6626-3274
AuthorID: 409255

ПИЧУГИН Анатолий Петрович
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)

SPIN: 2883-1204
AuthorID: 792270

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

AuthorID: 468151

ХРИТАНКОВ Владимир Федорович
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрена возможность использования органического сырья для получения прессованных композиционных материалов. Приведены результаты определения адгезии органического наполнителя к минеральным и органическим связующим. Определено влияние на формирование структуры композиционного материала фракционного состава органического наполнителя. Рассмотрено получение прессованных материалов на основе полимер-силикатного связующего, состоящего из натриевого жидкого стекла и стирол-акрилового латекса при соотношении органической части к неорганической 1:2. В зависимости от изменения физико-механических свойств прессованных образцов установлено оптимальное содержание комплексного связующего по отношению к органическому наполнителю. Методом измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки установлено, что все используемые нано-размерные добавки оказывают усиливающее воздействие на термостойкость полимер-силикатного связующего. Разработаны технологические параметры получения композиционных прессованных материалов на основе органических наполнителей.

Ключевые слова: древесные опилки; костра льна; лигнин; адгезия; фракционный состав; полимер-силикатное связующее; наноразмерная добавка; термомеханика; строительные материалы

Для цитирования: Пичугин А.П., Смирнова О.Е., Хританков В.Ф. Композиционные прессованные материалы на основе органического сырья // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 75-81. doi:10.51608/26867818_2023_2_75.



COMPOSITE PRESSED MATERIALS BASED ON ORGANIC RAW MATERIAL

© The Author(s) 2023

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

SMIRNOVA Olga Evgenievna

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

KHRITANKOV Vladimir Fedorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

Abstract. This paper considers the possibility of using organic raw materials to obtain pressed composite materials. Authors present the results of determining the adhesion of an organic filler to mineral and organic binders. The influence on the formation of the structure of the composite material of the fractional composition of the organic filler is determined. Authors analyzed the preparation of pressed materials based on a polymer and a silicate binder consisting of sodium liquid glass and styrene acrylic latex in 1:2 ratio of the organic part to the inorganic. Depending on the change in the physical and mechanical properties of the pressed samples, the optimal content of the complex binder in relation to the organic filler was established. By the method of measuring the uniaxial compression strain under the influence of a continuously acting load, it was found that all the nano-sized additives used have an intensifying effect on the thermal stability of the polymer-silicate binder. Technological parameters for obtaining composite pressed materials are based on organic fillers.

Keywords: sawdust; flax fire; lignin; adhesion; fractional composition; polymer silicate binder; nanoscale additive; thermomechanics; building materials

For citation: Pichugin A.P., Smirnova O.E., Khritankov V.F. Composite pressed materials based on organic raw material // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 75-81. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_75.

Введение

Немаловажным фактором успешной работы строительного комплекса является удешевление стоимости строительных материалов и изделий. Эффективным направлением для решения этой задачи является вовлечение в оборот местных ресурсов, одним из которых являются отходы деревообработки и растительное сырье. При условии соблюдения нормативных показателей за счет совершенствования качества изделий из растительного сырья можно получать эффективные материалы для различных конструктивных элементов зданий [1].

В настоящее время существуют и четко отрабатаны десятки различных технологий по вовлечению местных сырьевых ресурсов в производство эффективных и стойких к эксплуатационным воздействиям материалов и изделий. При рациональном подходе использование в качестве улучшающих добавок из местного органического сырья в виде отходов деревообработки, камыша, соломы, коры, торфа и др. будет способствовать не только удешевлению строительства, но и решению важной проблемы по

утилизации отходов и улучшению экологической обстановки на территориях [2-3].

В этой связи особого внимания заслуживает применение торфа, соломы, камыша, костры, опилок, коры и прочих растительных ресурсов, обладающих достаточно высокими теплоизолирующими и формообразующими свойствами.

Анализ литературных источников показал, что технология производства некоторых видов теплоизоляционных изделий на основе органических отходов разработана. Основными составляющими теплоизоляционных изделий на основе растительных отходов являются связующее, органический наполнитель, а также применяются различные корректирующие добавки (антисептики и антипирены). В качестве органических связующих используются различные смолы, поливинилацетатная эмульсия, синтетические латексы и другие. В качестве минеральных связующих применяют жидкое стекло, цемент, гипс, золу и другие.

Качество структуры композита на основе органических наполнителей (опилки, костра льна, со-



лома, резка камыша) определяется характеристиками составляющих микрополиструктур и физико-химическими процессами между ними. Для конструирования композиционных материалов на основе органических веществ основой может служить полиструктурная теория, разработанная В.И. Соломатовым для традиционных видов природного сырья в производстве строительных материалов [4], а также общие закономерности теории создания искусственных строительных конгломератов, предложенной и развитой И.А. Рыбьевым [5-6].

На базе отмеченных теорий В.В. Арбузовым предложены теоретические предпосылки основ композиционных материалов на органических заполнителях [5], согласно которых физико-технические характеристики органических прессованных материалов определяются функциональным комплексом:

$$P_m E \leftarrow f(K_s, R_t) \quad (1)$$

где $P_m E$ – свойства материала; K_s – качественные характеристики растительного заполнителя; R_t – режимные параметры изготовления.

При получении прессованных теплоизоляционных материалов основная роль в формировании их свойств принадлежит органическому наполнителю. В прессованных материалах органический наполнитель взаимодействует со связующим только в местах его контактов при частичном или неполном заполнении межзерновых пустот связующим, т.е. при контактном омоноличивании.

Целью данного исследования стало оптимизация состава и технологических параметров получения композиционных прессованных материалов на основе органических наполнителей и полимерсиликатного связующего, модифицированного наноразмерными добавками.

Методология

Выбор технологии и параметров производства теплоизоляционных материалов на основе органического сырья определяется свойствами связующего, технологически совместимого с органическим наполнителем. В качестве органических наполнителей в работе применяли костру льна и древесные опилки сосны. Костра льна является побочным продуктом от переработки льна и одним из распространенных сельскохозяйственных отходов. Стебли льна при выделении волокна в процессах мятья и трепания разрушаются, а отпадающие одревесневшие части образуют костру [7-8]. Размеры этих частиц колеблются от 1 до 10 мм по длине, толщина в пределах 0,3...1,5 мм. Опилки древесные из хвойных пород (сосна), образуются в результате распила древесины, плотность 520-580 кг/м³ в зависимости от уровня влажности, коэффициент теплопроводности равен 0,061 Вт/(м² °С). Размер опилок от 2,5 до 5 мм [7-9].

В качестве связующих применяли: жидкое стекло – $R_2O \cdot nSiO_2$, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13078-81, силикатный модуль 3,25-3,30, плотность 1,47 г/см³, рН = 13, условная вязкость 35-37 секунд; поливинилацетатную эмульсию, содержащую в своем составе до 58% смолы, плотность 1,45 г/см³, условная вязкость 90-95 секунд, содержание сухого остатка 49-49,5%, рН = 10,9; стирол-акриловый латекс, представляющий собой продукт не пластифицированной водной эмульсией полимера на основе стирола, бутилакрилата, метакриловой кислоты с размером частиц 0,05-0,15 мкм., плотностью 1,04 г/см³, условная вязкость не менее 10 сек., содержание сухого остатка 50 %, рН = 7,8-8,5.

В качестве нанодобавок применяли кремнезоли (кислые и щелочные), устойчивые коллоидные растворы наночастиц SiO_2 двуокиси аморфного кремния, как правило, в водной среде, производитель ОАО «КазХимНИИ». Плотность 1180–1220 кг/м³, концентрация 30%, массовая концентрация SiO_2 330–340 г/л, массовая концентрация Na_2O 33–34 г/л.

Фракционный состав растительного заполнителя определялся ситовым анализом согласно ГОСТ 9758. Насыпная плотность и влажность растительного заполнителя определялась согласно ГОСТ 17177. Теплопроводность материалов определялась по ГОСТ 7076 на установке ИПТ-МГ4. Термомеханические исследования по методу измерения деформации одноосного сжатия.

Результаты и обсуждение

Согласно литературным данным в составе прессованных теплоизоляционных материалов содержание органического наполнителя достигает 65-70%. Оценкой качества связующих, применяемых для получения композитов на основе органических наполнителей, таких как опилки и костра льна, являются показатели прочности и адгезии с органическим наполнителем.

Определение адгезии органического наполнителя к минеральным и органическим связующим осуществлялось по следующей методике [10]. Костра льна фракций 5-10 мм и опилки фракций 2,5-5 мм напыляются с некоторым уплотнением на металлическую пластину размером 10x20 мм, с предварительно нанесенным на нее слоем клея. После затвердения клея, не прикрепленные, частицы удаляются, а подготовленный образец укладывается на поверхность свежешелюженного теста из связующего и после его затвердевания производится испытания на отрыв и расчет усилий сцепления. Таким образом, можно получить сравнительные данные о величине адгезии между связующим и наполнителем. Сцепление рассчитывается как отношение усилий разрыва (F) к поверхности контакта S (МПа):

$$R = F / S \quad (2)$$



Учитывая небольшую величину этого показателя при испытаниях используется лабораторный динамометр с градуировкой на 4 Н. Результаты определения адгезионной прочности между частицами наполнителя и связующими приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Адгезионная прочность, МПа

Связующее	Наполнитель	
	Костра льна	Древесные опилки
Портландцемент	0,21-0,22	0,18-0,20
Стирол-акриловый латекс	0,30-0,32	0,26-0,27
Жидкое стекло	0,12-0,15	0,11-0,13
Поливинилацетатная эмульсия	0,26-0,27	0,23-0,24

Более высокой адгезионной прочностью обладают органические связующие, которые образуют полимерные пленки на поверхности частиц костры льна и опилок, увеличивая тем самым контактное сцепление в системе «связующее – органический наполнитель». В контакте с минеральными и органическими связующими костра льна обеспечивает более высокую адгезионную прочность по сравнению с древесными опилками. Это объясняется тем, что влажностные деформации (усушка и разбухание) у костры льна значительно ниже, чем у древесины [11]. Влажностная набухаемость костры льна не превышает 2 %. Установлен следующий ряд связующих по мере увеличения адгезионной прочности с кострой льна и опилками: жидкое стекло → портландцемент → поливинилацетатная эмульсия → стирол-акриловый латекс.

На формирование структуры композиционного материала определенное влияние оказывает фракционный состав органического наполнителя [12]. Фракционный состав устанавливался по показателям частных остатков на стандартных ситах, применяемых при анализе наполнителей бетонов (таблица 2). Параметры фракций позволяют применять органический наполнитель для композиционных материалов, различной структуры.

Таблица 2 – Фракционный состав органического наполнителя

Вид наполнителя	Остаток на сите, %						
	Размер отверстий сит, мм						
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Костра льна	14-16	55-65	12-14	4-5	1-2	0,5-1,5	менее 0,5
Древесные опилки	-	10-15	55-65	8-10	5-7	3-5	1-2

Влияние фракционного состава органического наполнителя на формирование структуры композита определялось с помощью двухфакторного

дисперсионного анализа. В качестве факторов выбранны: R – отношение наполнителя к связующему, L – фракционный состав наполнителя. Проведен факторный эксперимент RxL типа 3x7. Для фактора R установлено 3 уровня, для фактора L установлено 7 уровней. Измеряемые характеристики (отклики) – средняя плотность (Y1) и прочность при изгибе (Y2).

В таблице 3 представлен план эксперимента. Значения средней плотности и прочности при изгибе имеют значимую зависимость от линейных эффектов факторов L – фракционный состав и R – отношение наполнитель:связующее. Значимость факторов оценивалось по расчетному показателю критерия Фишера. При этом фактор L влияет на прочность при изгибе в большей степени, чем фактор R. Влияния факторов L и R на среднюю плотность приблизительно одинаково. Значимым является также взаимодействие факторов RxL, хотя роль взаимодействия близка к ошибке и поэтому из модели дисперсионного анализа можно исключить парный эффект.

Таблица 3 – Определение оптимума по фракционному составу органического наполнителя

Факторы (L/R)	Отклик Y ₁ * ρ _m (кг/м ³) при соотношении наполнитель : связующее			Отклик Y ₂ * Rизг (МПа) при соотношении наполнитель : связующее		
	1:0,9 (R ₁)	1:1,15 (R ₂)	1:1,25 (R ₃)	1:0,9 (R ₁)	1:1,15 (R ₂)	1:1,25 (R ₃)
	фракции 10/5 (L ₁)	255-260	290-292	308-310	0,78-0,81	0,95-0,98
фракции 5/2,5 (L ₂)	283-289	304-308	320-327	0,83-0,85	1,05-1,1	1,28-1,32
фракции 2,5/1,25 (L ₃)	295-297	322-325	338-340	0,49-0,51	0,52-0,58	0,65-0,70
фракции 5/2,5:10/5 = 2:1 (L ₄)	270-280	300-305	315-317	0,86-0,91	1,13-1,15	1,42-1,45
фракции 5/2,5:10/5 = 1:2 (L ₅)	267-270	295-298	310-315	0,82-0,87	1,08-1,12	1,24-1,29
фракции 5/2,5:2,5/1,25 = 2:1 (L ₆)	286-290	310-312	324-328	0,64-0,68	0,72-0,75	0,77-0,81
фракции 5/2,5:2,5/1,25 = 1:2 (L ₇)	290-292	320-324	330-335	0,53-0,55	0,62-0,65	0,68-0,71

По результатам испытаний и многофакторного анализа определено соотношение поликомпонентного органического наполнителя (рисунок 1).

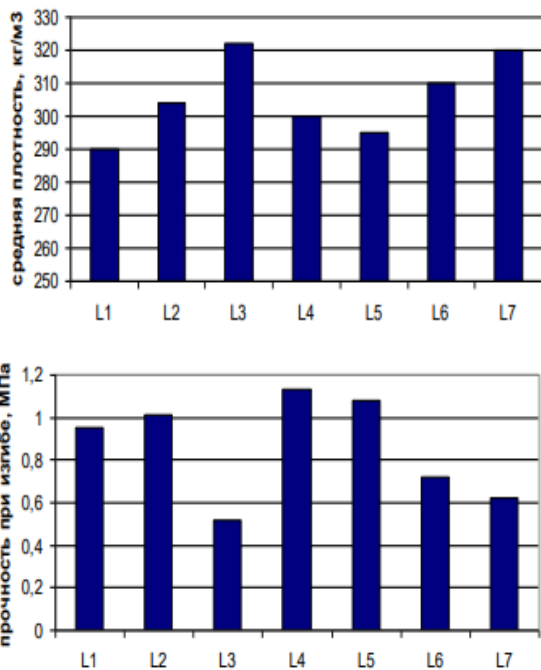


Рис. 1. Влияние фракционного состава поликомпонентного наполнителя (L) на свойства образцов

Согласно графикам на уровне L4 и L5 образцы обладают средней плотностью 295-300 кг/м³ и прочностью при изгибе 1,08-1,15 МПа. Оптимальный полифракционный состав костры льна / опилок установлен при сочетании фракций 10 / 5 и 5 / 2,5 мм в соотношении 1:2. Содержание фракции 5/2,5 мм в валовой пробе костры льна / опилок более 60 %, что позволяет применять данные органические наполнители без предварительной подготовки. Также применение полифракционного растительного наполнителя позволяет повысить прочностные характеристики за счет армирующего эффекта более крупной фракции костры льна и за счет «свойлачивания» – переплетения древесных волокон с костью льна и физического взаимодействия поверхностей разных по структуре органических наполнителей.

Определялось влияние органических и неорганических связующих на свойства образцов (рис.2). Образцы на основе жидкого стекла обладают наименьшим значением средней плотности. Составы на основе ПВА обеспечивают хорошие прочностные характеристики. При введении в состав латекса повышаются показатели прочности и водостойкости.

Оптимальным содержанием связующего для всех составов является 25-50 (% мас.), при этом значения прочности при сжатии максимальны. Дальнейшее увеличение связующего приводит к снижению

показателя прочности, это объясняется уменьшением объемного содержания в материале армирующего компонента – растительного наполнителя, создающего каркас материала. Для дальнейших исследований применялось комплексное полимерсиликатное связующее. Устанавливалось соотношение органической части к неорганической в связующем (табл.4).

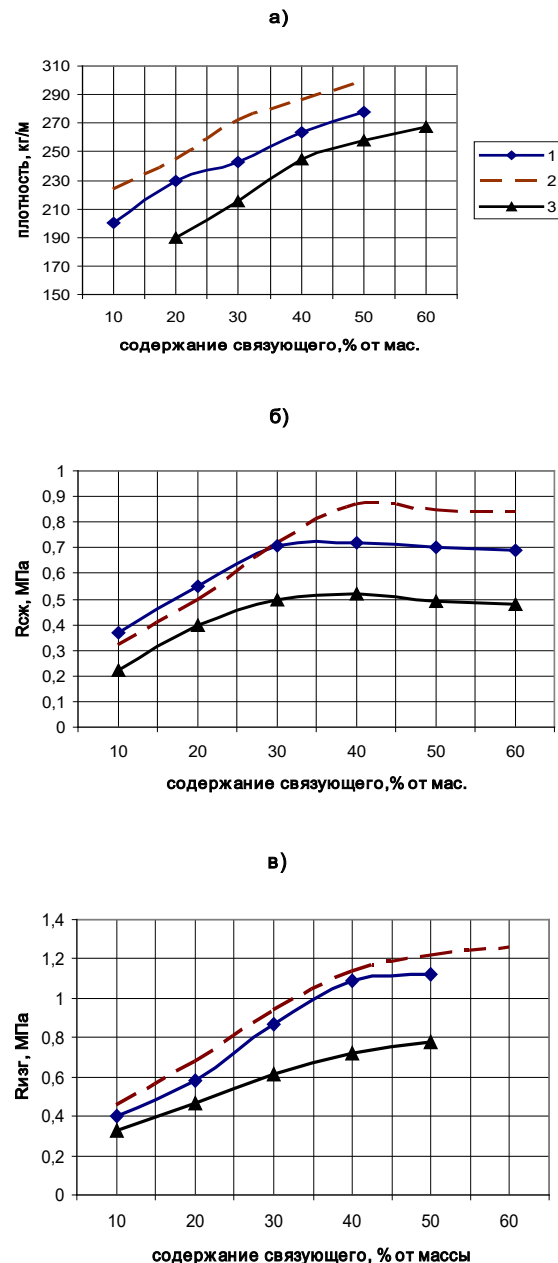


Рис. 2. Зависимость средней плотности (а), прочности на сжатие при 10%-деформации (б), прочности на изгиб (в) образцов от содержания связующего: 1- стирол-акриловый латекс; 2- ПВА; 3- жидкое стекло



Таблица 4 – Характеристики образцов для различных составов связующего

Соотношение жидкое стекло: стирол-акриловый латекс	ρ_m , кг/м ³	Rсж, МПа	Rизг, МПа	λ , Вт/м ⁰ С
1:(0,05-0,1)	290-295	0,74-0,77	1,01-1,1	0,060 – 0,061
1:(0,15-0,25)	298-301	0,82- 0,85	1,20-1,22	0,061 – 0,063
1:(0,35-0,5)	307-309	0,92- 0,94	1,25-1,30	0,068 – 0,069

Введение натриевого жидкого стекла совместно с водным раствором полимера при соотношении 1:0,15-0,25 позволяет повысить прочность при сжатии прессованных композитов на основе органического наполнителя на 15-18%, а прочность при изгибе на 20-25%.

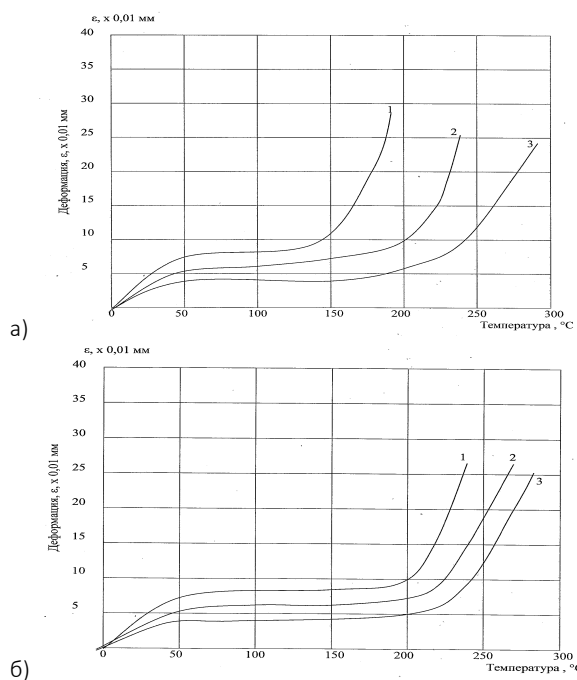


Рис. 3. Влияние модификации полимерсиликатного связующего, введением нано размерных добавок

Известно, что при введении нанодобавок улучшаются эксплуатационные характеристики любого материала, однако каждый состав требует своей оценки и своей оптимальной рецептуры [13]. Особая роль в упрочнении полимерных структур отведена наноразмерным добавкам, способствующим увеличению адгезионной прочности и других свойств, обеспечивающих повышение качества материалов. Наноразмерные добавки вводились в полимерсиликатное связующие в % по массе, 0,01; 0,05; 0,1. Для изучения влияния наноразмерных добавок на композиты проводились термомеханические

исследования (рис. 3) по методу измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки в условиях нагрева образца с постоянной скоростью в интервале температур от комнатной до 300 °С [14].

Анализ данных кривых показывает, что наибольшая температурная деформация характерная для – полимерсиликатного связующего без нанодобавок (кривая 1, рис. 3а). При этом точка температурного перехода в текучее состояние находится в районе 130-140°С. Введение в состав кремнезоль способствует повышению термоустойчивости композиции, одновременно снижая величину общей деформации (кривая 2, рис. 3а), повышая точку температурного перехода в текучее состояние на 40-50°С. Добавка Tuball способствует дополнительному снижению деформации системы и повышению температурного перехода к состоянию текучести на 25-30°С. Однако отмечено, что этот переход сопровождается в большом интервале температур при достаточно интенсивном увеличении деформации. На рисунке 3б представлен характер температурных деформаций, в зависимости от количества введенных нанодобавок (кремнезоль) в состав материала. Введение 0,05% кремнезоля в состав полимерсиликатной композиции повышает точку температурного перехода в текучее состояние на 15-20°С (кривая 2, рис.3б), а при содержании этого компонента в количестве 0,1% это увеличение составляет 25-35°С (кривая 3, рис.3б). Таким образом, все используемые наноразмерные добавки оказывают усиливающее воздействие на термоустойчивость полимерсиликатного связующего.

Разработана технология получения композиционных материалов методом прессования. Органический наполнитель, жидкое стекло, латекс, вода поступают в объемные дозаторы и потом в установку для получения сырьевой массы, которая представляет собой лопастной растворосмеситель. Далее смесь равномерно укладывается в формы. Высота бортоснастки формы с учетом коэффициента уплотнения смеси составляет 3-3,5 см. Сырьевая масса уплотняется прессовочным устройством с давлением прессования 0,03-0,05 МПа. Затем поступает в сушильную камеру и подвергается сушке при температуре 60-65 С в течение 10-12 часов. Распалубленные изделия выдерживаются в течение 3-5 суток и подают на склад готовой продукции.

Выводы

Получены прессованные материалы на основе полимер-силикатного связующего, состоящего из натриевого жидкого стекла и стирол-акрилового латекса при соотношении органической части к неорганической 1:2. В зависимости от изменения физико-механических свойств прессованных образцов установлено оптимальное содержание комплекс-



ного связующего по отношению к органическому заполнителю 1,15:1 (мас.ч.). Определен оптимальный состав сырьевой смеси для прессованных материалов, включающий, мас. %: опилки древесные, фракции 2,5 – 5 мм – 23-25; костра льна фракции 10 мм – 13-15; жидкое стекло – 35-40; бутадиен-стирольный латекс – 5-6; вода -19, нанодобавка – 0,05-0,1. Методом измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки установлено, что все используемые наноразмерные добавки оказывают усиливающее воздействие на термостойкость полимер-силикатного связующего.

Библиографический список

1. Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste / Smirnova O., Pichugin A., Sebelev I. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. XIII International Scientific Conference Architecture and Construction 2020. BRISTOL, 2020. С. 012051.

2. Хозин, В.Г. Комплексное использование растительного сырья при производстве строительных материалов / В.Г. Хозин [и др.]// Строительные материалы. -1997.- №2.-С.12-14.

3. Пичугин, А. П. Эффективные технологии при использовании растительного сырья в строительстве / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, О. Е. Смирнова ; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин). – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2020. – 192 с. – ISBN 978-5-7795-0922-0. – EDN RHZMDF.

4. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов/ монография– Ташкент: Изд-во «Фан» Академии наук Узбекской ССР, 1991. – 344с.

5. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (Искусственные строительные конгломераты) – М.: Высшая школа, 1978. – 308с.

6. Завадский, В.Ф. Лигноминеральные строительные материалы /В.Ф. Завадский// Строительные материалы. – 1997. - №8. – С.3-5.

7. Алехин Ю.А., Люсов А.Н. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1988. – 342 с.

8. Proshin A.P., Volkova E.A., Beregovoi A.M., Soldatov S.N. New thermal insulated materials // Problems and protects in ecological engineering Program, report and information at International scientific and technical conference, 25 May 2001, Tenerife, Spain 2001 – P. 108-110.

9. Легкие бетоны в сельском строительстве. / Под ред. Д.П. Киселёва. / - М.: Стройиздат, 1978. – 96 с.

10. Завадский В.Ф. Определение прочности на растяжение керамзита / В.Ф. Завадский// Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей: Реф. инф. ВНИИЭСМа. – 1982. – Вып. 5. – С. 25- 26.

11. Пичугин, А. П. Материалы для сельских строок : Использование местных материалов в строительстве сельскохозяйственных объектов / А. П. Пичугин, Н. И. Бурковская. – Омск : Книжное издательство, 1989. – 138 с. – ISBN 5-85540-063-8. – EDN SYMUFJ.

12. Крутов П.И., Склизов Н.И., Терновский А.Д. Строительные материалы из местного сырья в сельском строительстве. – М., Стройиздат, 1978. – 284 с.

13. Защитно-отделочные составы и композиции для ремонтных работ и обеспечения долговечности зданий / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, О. Е. Смирнова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 9(729). – С. 109-122. – DOI 10.32683/0536-1052-2019-729-9-109-122. – EDN JBRTZO.

14. Прочность гранул крупного пористого заполнителя из растительного сырья в легком бетоне / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, О. Е. Смирнова, М. А. Пичугин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 11(743). – С. 28-41. – DOI 10.32683/0536-1052-2020-743-11-28-41. – EDN QPNBKI.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 17.03.2023; одобрена после рецензирования 26.04.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 17.03.2023; approved after reviewing 26.04.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья
УДК 691.327 + 728.03 + 539.4
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2023_2_82

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ НА СВЕТОПРОПУСКАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

© Авторы 2023
SPIN: 6626-3274
AuthorID: 409255

ПИЧУГИН Анатолий Петрович
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)

SPIN-код: 7398-6405
AuthorID: 92311
ORCID 0000-0002-8020-5270
ResearcherID: E-9568-2012
Scopus ID: 7004628258

ЛАРИНА Татьяна Викторовна
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
(Россия, Новосибирск, e-mail: viktanlar@mail.ru)

SPIN: 2883-1204
AuthorID: 792270

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

AuthorID: 51408

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

Аннотация. Последние годы наукой и практикой разработаны различные варианты делигнификации древесины, что позволяет использовать её в новых ранее не применяемых конструкциях, в т.ч. при оформлении интерьеров и экстерьеров объектов различного назначения. Внедрение светопропускаемой древесины позволяет эффективно утилизировать кусковые отходы деревообработки и открывает интересные направления в архитектурно-декоративном оформлении зданий при их строительстве и ремонте, а также в дизайнерских проектах. В статье рассмотрено влияние технологических факторов при обработке древесины на физико-химические свойства делигнифицированного органического материала. Установлены закономерности отражения и поглощения электронных спектров в широком диапазоне 190-900 нм, что позволило сформулировать последовательность обработки древесных образцов для дальнейших исследований их свойств. Приведены результаты фотоэлектроколориметрических и спектральных исследований, которые дают полное представление о рациональности выбранных режимов обработки древесных образцов для обеспечения требуемой светопропускаемости.

Ключевые слова: древесина; делигнификация древесины; спектры отражения и поглощения; фотоэлектроколориметрические исследования; светопропускание; строительные материалы

Для цитирования: Физико-химическая оценка влияния технологических факторов делигнификации на светопропускание древесины / А.П. Пичугин, Т.В. Ларина, О.Е. Смирнова, С.Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 82-88. doi:10.51608/26867818_2023_2_82.



Original article

PHYSICO-CHEMICAL INFLUENCE ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF DELIGNIFICATION
ON LIGHT TRANSMISSION OF WOOD

© The Author(s) 2023

PICHUGIN Anatoly Petrovich

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

LARINA Tatiana Viktorovna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher
Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences
(Russia, Novosibirsk, e-mail: lvzak@mail.ru)

SMIRNOVA Olga Evgenievna

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

TKACHENKO Sergey Evgenyevich

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

Abstract. In recent years, science and practice have developed various options for the delignification of wood, which allows it to be used in new previously unused structures, including in the design of interiors and exteriors of objects for various purposes. The introduction of light-permeable wood makes it possible to efficiently dispose of lumpy woodworking waste and opens up interesting directions in the architectural and decorative design of buildings during their construction and repair, as well as in design projects. The article considers the influence of technological factors in the processing of wood on the physicochemical properties of the delignified organic material. The patterns of reflection and absorption of electronic spectra in a wide range of 190-900 nm were established, which made it possible to formulate a sequence of processing of wood samples for further studies of their properties. The results of photoelectrocolorimetric and spectral studies are presented, which give a complete picture of the rationality of the selected processing modes of wood samples to ensure the required light transmission.

Keywords: wood; wood delignification; reflection and absorption spectra; photoelectrocolorimetric studies; light transmission, building materials

For citation: Physico-chemical influence assessment of technological factors of delignification on light transmission of wood / A.P. Pichugin, T.V. Larina, O.E. Smirnova, S.E. Tkachenko // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 82-88. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_82.

Введение

Бетоны с эффектом светопропускания получили в последние годы широкое распространение в современном строительстве, обеспечивающие эстетичность, выразительность, декоративность, подчеркивающие облик объектов, располагающие к отдыху и творчеству. Широкие архитектурно-декоративные возможности такого бетона определяются разнообразием интерьеров и экстерьеров, задаваемых архитекторами и дизайнерами при возведении зданий и сооружений. Возможным решением задачи повышения эффективности архитектурно-декоративных бетонов и изделий на их основе может стать комплексное использование прозрачных наполнителей, модифицирующих добавок, бинар-

ных композиций и ранее неиспользуемых отходов растительного происхождения. Увеличить возможности применения данных бетонов и повысить его показатели качества можно внедрением оптически светопроницаемой древесины из отходов деревообработки. Однако, для широкого внедрения такого материала требуются комплексные исследования по отработке рецептурно-технологических режимов обработки и стабилизации полученных свойств во времени. Учитывая экологичность и эстетичность древесины, а также возобновляемость в природе, можно считать, что данный бетон с наполнителем из прозрачной древесины может иметь широкие перспективы для использования в современном строительстве [1-2].



Материалы и методы исследований

Древесные березовые или осиновые кусковые отходы деревообработки, содержащее малое число сучков и иных пороков древесины были использованы для отработки технологии и параметров производства материалов со светопропускающим эффектом. В качестве органических препаратов применяли пироксид натрия, перекись водорода, этиловый спирт, растительные масла по ранее отработанным рецептурам и технологическим режимам. Порядок подготовки древесных образцов был принят следующий: напильные фрагменты размерами 50x30x5 мм предварительно высушивались в сушильном шкафу, после чего подвергались делигнификации, промывке в воде и этиловом спирте с последующей сушкой [2-7].

Фотоэлектроколориметрические характеристики растворов для изучения абсорбции деревянных образцов к нейтральным растворам определялись с помощью фотометра КФК-3-«ЗОМЗ» [4]. В качестве красителя использовался метиленовый синий (C₁₆H₁₈N₃Cl 3H₂O) выбранный из нескольких разных наиболее распространенных красящих веществ (конго красный, родамин 6Ж, родамин С, метиленовый синий и метиловый фиолетовый). Древесные образцы измельчались до фракций 1-2 мм и навески материалов по 1 грамму (в трех параллелях) встряхивались в течение 15 минут в 20 мл раствора красителя; после выдержки в течение суток; осуществлялся отбор раствора по 10 мл в стандартную кювету фотоэлектроколориметра для определения коэффициента светопропускания. Показания о силе света проходящего через кюветы с исследуемым и контрольным растворами фиксировались на электронном табло в виде процентного содержания красителя в растворах, что соответствовало плотности красящей композиции после пребывания в ней древесных образцов [8-11].

Электронные спектры диффузного отражения (ЭСДО) были зарегистрированы на спектрофотометре UV-2501 PC фирмы "Shimadzu" с приставкой диффузного отражения ISR-240 A. Образцы в виде порошка помещали в кварцевую кювету с длиной оптического пути 2 мм. Спектры регистрировали относительно стандарта отражения – BaSO₄ в диапазоне 190-900 нм. Полученные коэффициенты отражения переводили в коэффициенты поглощения. Конечные данные ЭСДО представлены в координатах: функция Кубелки-Мунка, F(R) – длина волны [12-15].

На каждом этапе исследований для каждой партии образцов фиксировались их физико-механические свойства, а также проводилось определение светопропускания образцов на специально разработанном устройстве для определения прозрачности материалов, сконструированном авторами (Патент РФ №2791849) [4].

Теоретические основы измерений

Принцип измерения коэффициента светопропускания, состоит в сравнении светового потока Φ₀, прошедшего через кювету с контрольной жидкостью, со световым потоком Φ, прошедшего через кювету с исследуемой жидкостью. Определяется отношение данных световых потоков. Коэффициент пропускания τ рассчитывается по формуле [8-11]:

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} * 100 \% = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} * 100 \%, \quad (1)$$

где U, U₀ и U_T – электрические сигналы, пропорциональные световому потоку, прошедшему через исследуемую жидкость, «холостую пробу», темновому току соответственно.

Светопоглощение (оптическая плотность) D находится по формуле:

$$D = \lg \left(\frac{1}{\tau} \right) = \lg \left(\frac{U_0 - U_T}{U - U_T} \right), \quad (2)$$

где τ – коэффициент пропускания, %.

Результаты и обсуждение

Светопропускание древесины зависит от наличия остаточного лигнина, связующих, применяемых для получения композитов на основе органических наполнителей, таких как опилки и костра льна, являются показатели прочности и адгезии с органическим наполнителем. На первом этапе устанавливалось процентное отношение поглощения древесины красителя из раствора. С этой целью были предварительно испытаны обработанные по различным вариантам деревянные образцы, позволившие выявить определенные закономерности в сорбционной способности отдельных фрагментов древесины (рис.1).

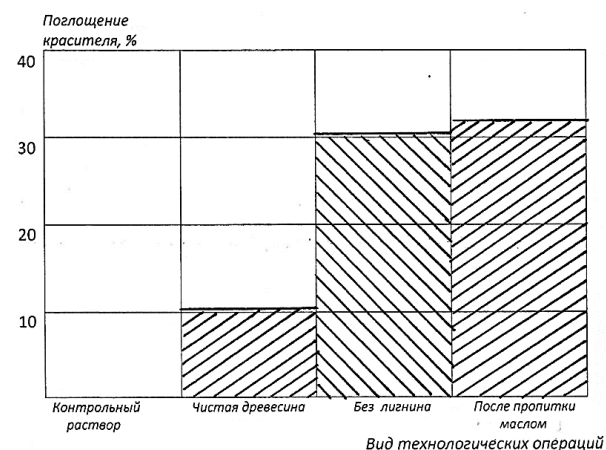


Рис. 1. Зависимость поглощения красителя деревянными образцами после различных видов технологических операций

Отмечено резкое увеличение поглощательной способности древесины для образцов, после проведения делигнификации. Этот факт объясняется различием сорбционной способности компонентов



древесины. Известно, что лигнин имеет самую низкую сорбционную способность (коэффициент 0,6) по сравнению с необработанной древесиной (коэффициент 1,0). Кроме того, лигнин, как правило, покрывает все внутренние полости сосудов и капилляров древесины, препятствуя доступу раствора с красителем к целлюлозе. Наибольшей сорбционной способностью обладает геми-целлюлоза (коэффициент 1,56). Учитывая тот факт, что гемицеллюлозы и целлюлозы в составе древесины содержится около 65-75%, можно сделать вывод, что освобожденная от лигнина древесина проявляет большую поглощательную способность по сравнению с необработанными образцами [5-7]. Этот вывод хорошо согласуется не только с поглощательной способностью, но и подтверждается анализом образцов на светопропускание, график которого представлен на рисунке 2.

Интенсивность прохождения светового потока через деревянные образцы связана в первую очередь с наличием лигнина в древесине. В ходе делигнификации наличие остаточного лигнина составляет обычно в пределах от 1 до 8%. Существующие методы оценки остаточного лигнина химическим способом весьма сложные и длительные. Прозрачный при визуальном рассмотрении раствор после центрифугирования заливают в кювету толщиной 1 см и измеряют на фотометре светопоглощение при длине волны 280 нм.

Концентрацию раствора лигнина в кадоксен-воде, г/дм³, определяют по градуировочному графику или по рассчитанному с помощью графика

удельному коэффициенту светопоглощения по формуле

$$c = \frac{D}{k \cdot l}, \quad (3)$$

где D – светопоглощение (оптическая плотность) при длине волны 280 нм; l – толщина кюветы, см, l = 1 см; k – удельный коэффициент светопоглощения (оптической плотности), дм³·г⁻¹·см⁻¹. Массовую долю остаточного лигнина древесины, %, к исходной абсолютно сухой целлюлозе, рассчитывают по формуле:

$$L = \frac{c \cdot 30}{g \cdot 1000} \cdot K_3 \cdot 100, \quad (4)$$

где c – концентрация лигнина древесины в кадоксен-воде (1 : 1), г/дм³; g – масса абсолютно сухой навески обессмоленной целлюлозы, г; K₃ – коэффициент экстрагирования.

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

Одним из главных параметров качества древесины, определяемой её область применения, являются сорбционная емкость, которая должна быть максимально возможной. Этот параметр коррелирует с оптическими данными древесины, поэтому анализ спектров отражения и поглощения позволяет представить полную картину свойств в сравнении до и после обработки. Приготовленные серии образцов для испытаний были приняты следующие: 1 - естественная древесина; 2 - делигнифицированная древесина; 3 - экстрагированная древесина; 4 - де-

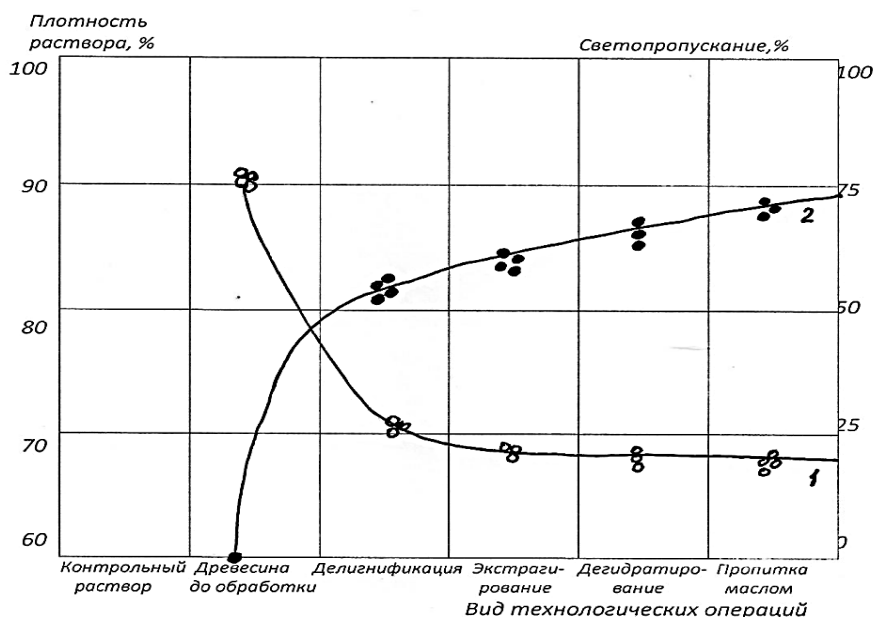


Рис. 2. Зависимость плотности раствора красителя и светопропускания деревянными образцами после различных видов технологических операций:

- 1 - изменение плотности раствора с красителем;
- 2 - изменение светопропускания



гидратированная древесина; 5 – пропитанная маслом древесина. На рисунке 3 представлены спектры отражения образцов древесины на различных стадиях обработки.

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

В образцах номер 5 также присутствует примесь, которая уменьшает степень отражения этого образца, что связано с наличием растительного масла со скипидаром. По характеру спектра можно предположить, что примесные факторы в образцах номер 1 являются более упорядоченными, что отвечает реальной структуре древесины, растущей и формируемой десятки лет. Кроме того, отмечено, что примесь в образцах под номером 5 находится в приповерхностных слоях волокон, а в образцах номер 1 примесь стабилизируется в более глубоких слоях волокон. Это объясняется наличием лигнина в естественной древесине, обволакивающим равномерно все внутренние сосуды и капилляры, и сросшимся с целлюлозой и другими составляющими.

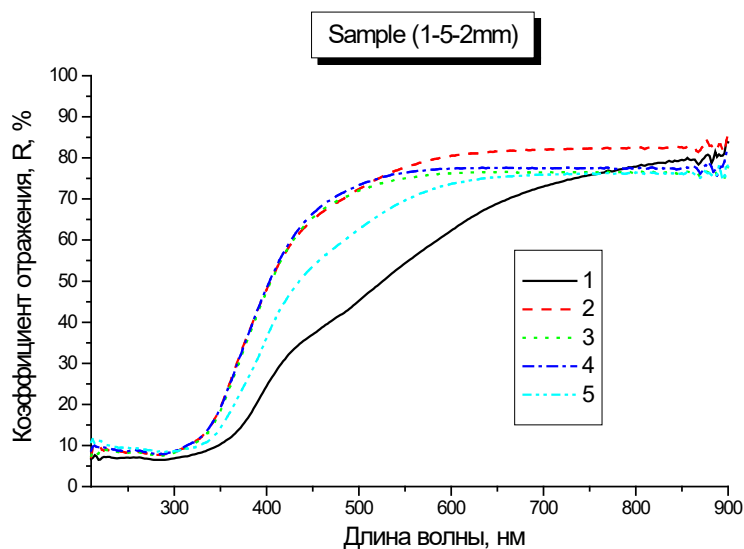


Рис. 3. Спектры отражения образцов

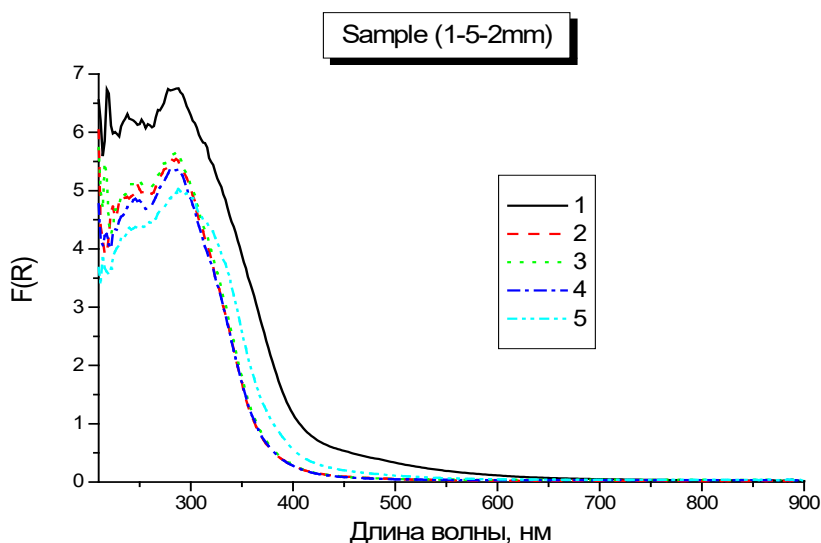


Рис. 4. Спектры поглощения образцов в нм.

Можно также сделать вывод, что степень отражения незначительно растет от образца к образцу по мере прохождения технологических операций, что свидетельствует о повышении степени чистоты образцов. Другими словами, наличие примеси понижает степень прозрачности образцов, что следует из увеличения значения длины волны от 316 нм (для образцов 2-4) до 325 нм (для образцов 5) и далее до 334 нм (для образцов 1).

Из анализа спектров поглощения хорошо видно два параметра: глубина проникновения примеси в объем волокна и степень рыхлости образцов в целом, то есть значение его сорбционной емкости. Для всех образцов наиболее вероятно можно обсуждать край поглощения системы как целого, то есть можно определить ширину запрещенной зоны всей системы, имеющей значение E_g , как это обычно рассматривают для полупроводниковых и диэлектрических материалов. В таком случае, из анализа спектров поглощения в диапазоне $25\ 000-33\ 300\ \text{см}^{-1}$ (300-400 нм) видно, что наименьшее значение E_g (в эВ) наблюдается для образца 1. Промежуточное значение E_g будет для образца 2. В то время как для остальных трех образцов (3, 4 и 5) значение E_g будет очень близкое или почти одинаковое ($\pm 0,1$ эВ). Наименьшее значение E_g будет свидетельствовать о наибольшем количестве примеси, присутствующей в образцах под номером 1, что придает им оранжевый цвет.

Интенсивность поглощения в области выше $25000\ \text{см}^{-1}$ (ниже 400 нм), а именно, в области $33\ 300-53000\ \text{см}^{-1}$ (300-190 нм) обычно свидетельствует о содержании влаги в образце или наличии в нем пустот (порового пространства), характеризующих сорбционную емкость. Из анализа данной области можно сделать вывод, что образцы под номером 5 являются более плотными, имеющими меньшую сорбционную емкость за счет введения в него растительного масла со скипидаром. Образцы 2, 3 и 4 по степени рыхлости или сорбционной емкости представляются менее плотными, что вполне закономерно, т.к. после делигнификации открыт доступ к целлюлозе и гемицеллюлозе, коэффициенты сорбции которых значительно выше лигнина (коэффициент 1,56 для гемицеллюлозы против 0,60 у лигнина).

Подтверждением результатов проведенных исследований явились выполненные микроструктурные исследования, результаты которых представлены на рисунке 5.

Изучение микроструктуры древесины на различных этапах обработки для придания способности к светопропусканию показало следующее. Структура клеток древесины практически полностью законсервирована лигнином (рис.5.2 и 5.3), что свидетельствует о достаточно большом его количестве в массиве необработанного образца.

После проведения процедуры отбеливания (делигнификации) на срезах остаются в основном

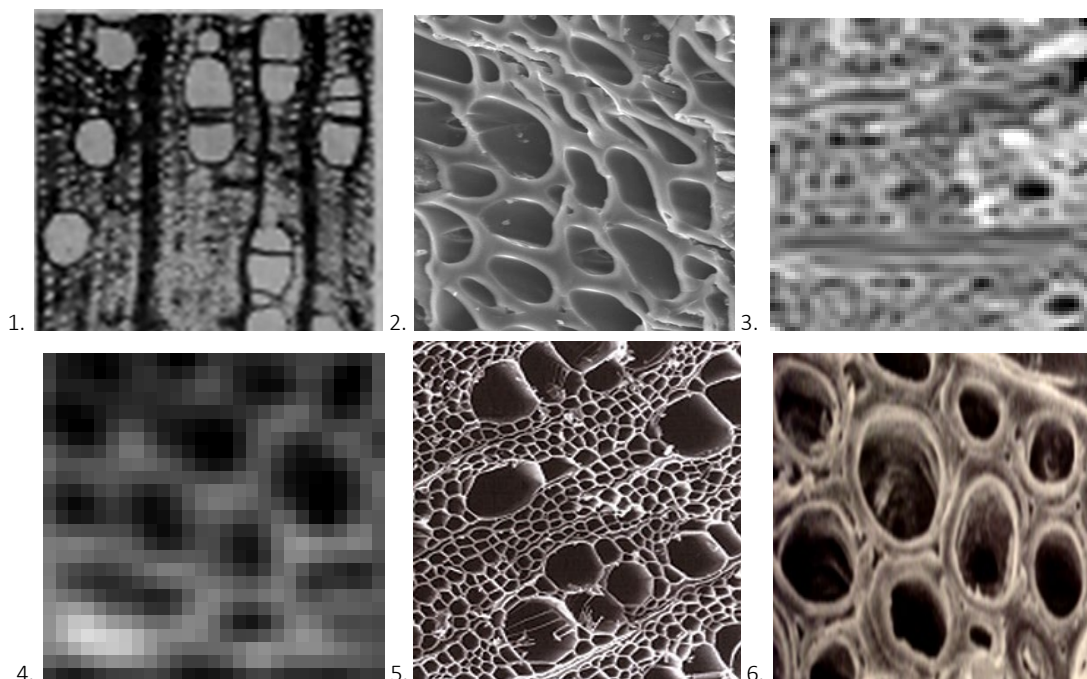


Рис. 5. Микрофотографии структуры древесины на различных этапах обработки для обеспечения светопропускания: 1 – строение березы (поперечный разрез), $\times 750$; 2 – структура клеток древесины с лигнином, $\times 1200$; 3 – линейные фрагменты лигнина (продольный разрез), $\times 1200$; 4 – структура древесины после делигнификации, $\times 1200$; 5 – структура древесины после дегидратирования (поперечный разрез), $\times 1200$; 6 – структура древесины после пропитки растительным маслом со скипидаром, $\times 1500$



фрагменты сосудов и капилляров, состоящие из целлюлозы и гемицеллюлозы (рис.5.4 и 5.5). Пропитка образцов маслом со скипидаром приводит к появлению на внутренней поверхности сосудов и капилляров масляной пленки, что хорошо просматривается на рисунке 5.6.

При всем этом следует отметить, что процесс делигнификации практически не изменяет структуры древесины, а лишь освобождает от создающих завесу прохождения светового потока лигниновых включений. Проведение пропитки растительным маслом со скипидаром выполняет структурирующую и защитную роль в древесине, улучшая оптические свойства и не изменяя её физико-механических характеристик.

Выводы

Таким образом, из данных УФ-Вид спектрофотометрии можно сделать вывод о степени прозрачности образцов, наличии примеси в образцах и расположении порового пространства. Данные выводы подтверждаются результатами фотоэлектроколориметрических и микроструктурных исследований. Установлено, что разработанный пропитывающий состав на основе растительного масла и скипидара для обработки древесины обладает высоким коэффициентом светопропускания образцов после делигнификации традиционными способами. Кроме того он является экологически безопасным и доступным материалом. Рациональный подбор технологических и рецептурных параметров химически обработанной древесины позволяет рекомендовать такой материал для изготовления арболита, обладающего светопропусканием, что очень важно для архитектурно-декоративного оформления интерьеров и экстерьеров зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Ткаченко, С. Е. Изучение светопропускания строительных композитов для решения архитектурно-технологических задач / С. Е. Ткаченко, А. П. Пичугин // Инновационные научные исследования. – 2021. – № 3-1(5). – С. 36-40. – DOI 10.5281/zenodo.4677073. – EDN VIAAEU.
2. Пичугин, А.П. Принципы получения светопрозрачных конгломератных материалов на основе древесного наполнителя / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, С.Е. Тка-

ченко // Интеллектуальные информационные технологии и математическое моделирование 2021 (ИИТММ 2021). – 2021. – С. 1–9.

3. Влияние химической природы отбеливающих реагентов на свойства целлюлозного волокна / Э. Р. Муллина, Л. В. Чупрова, О. В. Ершова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 11. – С. 74-77. – EDN VBRZFP.

4. Патент РФ № 2791849. Устройство для определения прозрачности материалов //А.П.Пичугин, В.Ф.Хританков, О.Е.Смирнова, А.В. Пчельников, С.Е.Ткаченко. Оpubл. 13.03.2023.

5. Никитин, В. М. Химия древесины и целлюлозы: учеб пособие / В.М. Никишин, А.В. Оболенская, В.П. Щеголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 367 с.

6. Нуштаева, А.В. Химия древесины: учеб. пособие / А.В. Нуштаева. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 100 с.

7. Терентьева, Э. П. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров: учеб. пособие / Э. П. Терентьев, Н. К. Удовенко, Е. А. Павлова. – СПб.: СПбГУРП, 2015. – Ч. 2. – 83 с.

8. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа. –Л.: Химия, 1976.–375 с.

9. Краснов Е.А., Дудко В.В., Андреева Т.И. и др. Физико-химические методы исследования. – Томск, 1989. – 111 с.

10. Чакчир Б. А., Алексеева Г. М. Фотометрические методы анализа: Методические указания. – СПб; Изд-во СПХФА 2002.- 44 с.

11. Пичугин, А. П. Фотоэлектроколориметрическое изучение взаимодействия наполнителей с полимером / А. П. Пичугин, В. П. Князева // Вопросы гидромелиорации сельскохозяйственных земель в условиях Дальнего Востока. Том Выпуск 23. – Благовещенск : Без издательства, 1973. – С. 75-82. – EDN TDONDI.

12. Данилина, Е.И. Спектрофотометрический анализ: учебное пособие для лабораторных работ / Е.И. Данилина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 34 с.

13. Марченко, З. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой области в неорганическом анализе / З. Марченко, М. Бальцежак, пер. с пол. А.В. Гармаша. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 711 с.

14. Булатов, М.И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа / М.И. Булатов, И.П. Калинин. – М.: Химия, 1986. – 431 с.

15. Берштейн, И.Я. Спектрофотометрический анализ в органической химии / И.Я. Берштейн, Ю.Л. Каминский. – Л.: Химия, 1986. – 200 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 15.05.2023.

Научная статья

УДК 69.059

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

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

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

doi:10.51608/26867818_2023_2_89

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С МОДЕЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

© 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: 8080-8833

AuthorID: 1044399

ORCID 0000-0002-7286-4073

ТРУНТОВ Павел Сергеевич

аспирант

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*

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

Аннотация. Статья посвящена анализу результатов технического обследования административного здания и выполнению инженерных расчетов с учетом выполненных работ по техническому обследованию. Рассматриваемые конструкции располагаются в административном 2-х этажном здании. Конструктивная схема здания – металлический каркас. Установлено фактическое состояние несущих конструкций здания. Для определения несущей способности фундаментной плиты и главной стальной балки были выполнены поверочные расчеты. Поверочные расчеты выполнялись с применением программных комплексов «ЛИРА-САПР 2017PRO» и SCAD Office с учетом действующих нормативно-технических документов. По результатам расчета фундаментной плиты установлено требуемое фоновое армирование, требуемое армирование в нижней зоне в местах установки несущих вертикальных конструкций, определен прогиб. В результате расчета главной стальной балки установлены прочность при действии поперечной силы, прочность при действии изгибающего момента, устойчивость плоской формы изгиба при действии момента, прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы. По результатам выполненных расчетов с учетом действующих нагрузок и фактическим армированием фундаментной плиты, а также фактическом техническом состоянии, определенном по результатам технического обследования, сделаны выводы о работоспособности конструкций.

Ключевые слова: техническое обследование; расчеты строительных конструкций; строительные конструкции; поверочные расчеты; строительная механика; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Римшин В.И., Трунтов П.С. Техническое обследование несущих конструкций с моделированием напряженно-деформированного состояния конструкций // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 89-94. doi:10.51608/26867818_2023_2_89.



Original article

TECHNICAL INSPECTION OF LOAD-BEARING STRUCTURES WITH MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURES

© The Author(s) 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)

TRUNTOV Pavel Sergeevich

PhD Candidate

National Research Moscow State University of Civil Engineering

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

Abstract. The article is devoted to the analysis of the technical survey results of the administrative building and the implementation of engineering calculations considering the work performed on the technical survey. The structures in question are located in an administrative 2-storey building. The structural scheme of the building is a metal frame. The actual condition of the building's load-bearing structures has been established. To determine the bearing capacity of the foundation plate and the main steel beam, verification calculations were performed. The verification calculations were performed using the software complexes "LIRA-CAD 2017PRO" and SCAD Office, taking into account the current regulatory and technical documents. Based on the results of the calculation of the foundation plate, the required background reinforcement was established, the required reinforcement in the lower zone in the places of installation of load-bearing vertical structures, the deflection was determined. As a result of the calculation of the main steel beam, the strength under the action of the transverse force, the strength under the action of the bending moment, the stability of the flat bending shape under the action of the moment, the strength under the reduced stresses under the simultaneous action of the bending moment and the transverse force were established. Based on the results of the calculations performed, taking into account the operating loads and the actual reinforcement of the foundation plate, as well as the actual technical condition determined by the results of the technical inspection, conclusions are made about the operability of the structures.

Keywords: technical inspection, calculations of building structures, building structures, verification calculations, construction mechanics

For citation: Rimshin V.I., Truntov P.S. Technical inspection of load-bearing structures with modeling of the stress-strain state of structures // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 89-94. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_89.

Введение

Целью настоящей работы является поверочный расчет ответственных строительных конструкций, а именно фундаментной плиты и главной стальной балки перекрытия, выполняемые после технического обследования здания. Рассматриваемые конструкции располагаются в административном 2-х этажном здании. Конструктивная схема здания – металлический каркас. Шаг несущих колонн 1-го этажа 7,2 м, на 2-м этаже 7,2 м. в продольном направлении и 21,6 м. в поперечном. Здание односекционное с размерами в плане 128x76 м, высота от уровня земли 12 м. Высоты этажей – 4,2-4,4 м, общая площадь здания – 9781,4 м² [1-7].

Пространственная жесткость здания обеспечивается совместной работой жестких дисков перекрытий, вертикальными несущими элементами (стальные колонны, связи, стены лестничной

клетки), стальными фермами кровли (связями по поясам ферм, прогонами).

По результатам технического обследования установлено, что фундамент здания – монолитная железобетонная плита толщиной 450 мм, выполняемая на естественном основании. Фоновое армирование плиты в верхней и нижней зонах выполнено стержнями $\varnothing 16$ A500C. Проектный класс бетона B25. Под каждую колонну выполнена банкетка толщиной 100мм. Армирование банкетки выполнено арматурой $\varnothing 16$ A500C. Дополнительно в зонах колонн выполнено дополнительное армирование в нижней зоне стержнями $\varnothing 22$ A500C. Под фундаментной плитой предусмотрена бетонная подготовка толщиной 100 мм, проектный класс бетона B7,5. Внутри подготовки – гидроизоляция из 2-х слоев "Техноэласта". Сопряжение несущих железобетонных стен с фундаментной плитой запроектированы жестким моно-



литном узлом. Для этого в фундаментной плите были предусмотрены соответствующие арматурные выпуски из арматуры $\varnothing 12$ А500С. Дефектов и поврежденных фундаментов (в т.ч. по косвенным признакам) не зафиксировано.

Несущие колонны здания выполнены из стального прокатного двутаврового профиля 35К1 по СТО АСЧМ 20-93. База колонны выполнена шарнирной и передает усилия на фундаментную плиту через основание базы. Закрепление колонны с фундаментом выполнено через фундаментные болты. Колонны первого этажа высотой 4,4 м, по верху колонн проходят главные балки перекрытия 1-го этажа. Колонны второго этажа высотой 4,7 м, выполнены по главным балкам перекрытия 1-го этажа. Узел сопряжения колонн 1-го и 2-го этажа является жестким. Для установки стальных ферм покрытия, по верху колонн 2-го этажа выполнены надколонники. Надколонники выполнены из стального прокатного двутаврового профиля 35К1 по СТО АСЧМ 20-93. Сопряжение колонн 2-го этажа и надколонника происходит через шарнирное соединение. При визуальном освидетельствовании вертикальных несущих конструкций коррозии, плесени, грибков, повреждений и других дефектов не зафиксировано. Колонны окрашены, нарушения окрашенного слоя не зафиксировано. Согласно данных проектной документации расчетное сопротивление стали конструкции соответствует стали С345 ($R_y=320$ Н/мм²).

Несущими конструкциями перекрытия являются горизонтальные стальные балки, выполненные по типу балочной «клетки». При визуальном освидетельствовании горизонтальных несущих конструкций коррозии, плесени, грибков, повреждений и других дефектов не зафиксировано. Балки окрашены, нарушения окрашенного слоя не зафиксировано. Также при визуальном освидетельствовании бетонных поверхностей горизонтальных несущих конструкций трещин, деформаций и других повреждений и дефектов не зафиксировано.

Методы

Поверочный расчет выполнялся на фактически действующие нагрузки с учетом планируемых нагрузок.

Конструкционные материалы, принятые в расчете, соответствуют проектной документации. Марка стали несущих конструкций – Сталь С345 ($R_y=320$ МПа, $R_t=460$ МПа). Класс бетона монолитных железобетонных конструкций В25 ($R_b=17,0$ МПа, $R_{bt}=1,05$ МПа, $E_b=30\ 000$ МПа). Класс арматуры А500С ($R_s=435$ МПа, $R_{sw}=300$ МПа) и А240 ($R_s=215$ МПа, $R_{sw}=170$ МПа) [8-11].

Нагрузки на расчетную схему принимались согласно СП 20.13330.2016 «Свод правил. Нагрузки и воздействия», а также согласно исходным данным.

Нормативные и расчетные нагрузки представлены в таблице 1. При этом нагрузка от собственного веса конструкции вычисляются и учитываются при расчете в программном комплексе автоматически.

- Коэффициент надежности по ответственности 0,95;
- Степень огнестойкости нормальная;
- Район по ветровому давлению – 1 (23 кгс/м²) тип местности В;
- Снеговой район – III (180 кгс/м²).

Расчет основных несущих элементов каркаса здания выполнен на основе пространственной расчетной модели с использованием программных комплексов «ЛИРА-САПР 2017PRO» и SCAD Office [12-14].

Таблица 1. Нормативные и расчетные нагрузки

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка (кгс/м ²)	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка (кгс/м ²)
Нагрузки на 1 м ² перекрытия				
1	Собственный вес профнастила Н-75-750-0,7	9,8	1,05	10,3
2	Собственный вес плиты перекрытия hприв.=150мм	375	1,1	412,5
3	Нагрузка от конструкции пола	90	1,3	117
4	Итого:	575	-	540
5	Полезная нагрузка	350	1,2	420
6	Всего:	925	-	960
Нагрузки на 1 м ² покрытия				
1	Утеплитель «ROCKWOOL» РУФ БАТТС h=75мм	11,3	1,3	14,7
2	Собственный вес профнастила Н-75-750-0,7	9,8	1,05	10,3
3	Пароизоляция	1	1,3	1,3
4	Утеплитель «ROCKWOOL» РУФ БАТТС h=150мм	24	1,3	31,2
5	Утеплитель «ROCKWOOL» РУФ БАТТС h=30мм	4,8	1,3	6,3
6	Плиты АЦЭИД h=24мм	48	1,3	62,4
7	Гидростеклоизол ЭПП	4	1,3	5,2
8	Гидростеклоизол ЭКП	4	1,3	5,2
9	Итого:	107	-	137
10	Кратковременная снеговая нагрузка	128	1,4	180
11	Всего:	235	-	317

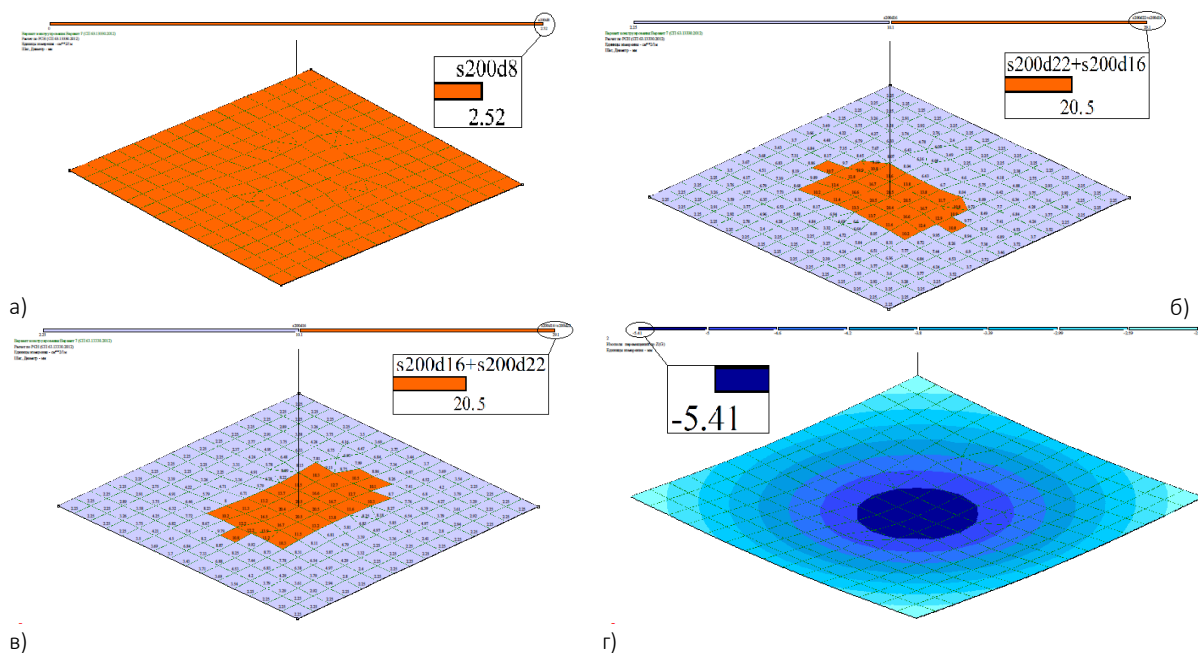


Рис. 1. Результаты расчета фундаментной плиты

а) Требуемое фоновое армирование по осям X и Y; б) Требуемое нижнее армирование по оси X; в) Требуемое нижнее армирование по оси Y; г) Перемещения по оси Z

Результаты и анализ

Расчет фундаментной плиты. По результатам расчета установлено, что требуемое фоновое армирование на 1 п.м. фундаментной плиты, с учетом дополнительных нагрузок составляет 2,52 см². Требуемое армирование в нижней зоне в местах установки несущих вертикальных колонн составляет 20,5 см². Прогиб фундаментной плиты – 5,41 мм. Результаты расчета приведены на рисунке 1.

Расчет главной стальной балки перекрытия. Поверочный расчет выполнялся с использованием программного комплекса SCAD Office. Главные балки выполнены из стального прокатного двутаврового профиля 45Б1 по СТО АСЧМ 20-93 (рис. 2). Главные балки уложены по стальным колоннам 1-го этажа вдоль цифровых осей. Главная балка работает по схеме неразрезной балки. Коэффициент надеж-

ности по ответственности и коэффициент условий работы принимались равными 1.

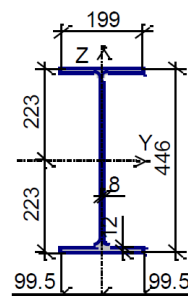


Рис. 2. Профиль главной двутавровой балки 45Б1 по СТО АСЧМ 20-93

Эпюры моментов и поперечных сил от действия нагрузок представлены на рисунке 3.

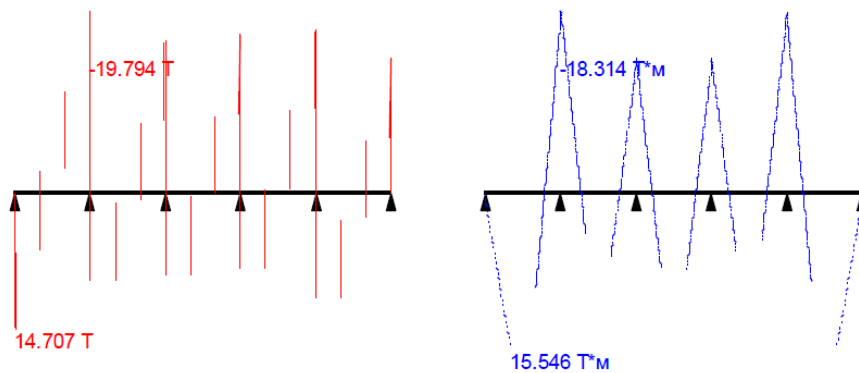


Рис. 3. Эпюры моментов и поперечных сил от действующих нагрузок



По результатам расчета установлено, прочность при действии поперечной силы, прочность при действии изгибающего момента, устойчивость плоской формы изгиба при действии момента, прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы, а также прогиб балки не превышают предельно допустимые значения [15-16]. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета главной стальной балки перекрытия

Проверка	Коэффициент использования
Прочность при действии поперечной силы	0,327
Прочность при действии изгибающего момента	0,443
Устойчивость плоской формы изгиба при действии момента	0,443
Прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы	0,427
Максимальный прогиб 10 мм	0,35

Заключение

По результатам технического обследования и выполненных поверочных расчетов сделаны следующие выводы:

Требуемое фоновое армирование на 1 п.м фундаментной плиты составляет 2,52 см². Фактическое фоновое армирование фундаментной плиты составляет 10,05 см² на 1 п.м, что соответствует арматуре Ø16 А500С с шагом 200 мм. Коэффициент использования по армированию составляет $K_f=0,25$.

Требуемое армирование на 1п.м фундаментной плиты в нижней зоне в местах установки несущих вертикальных колонн составляет 20,5 см². Фактическое выполненное армирование в зоне установке колонн составляет 29,5 см² на 1 п.м, что соответствует арматуре Ø16 А500С с шагом 200 мм. и арматуре Ø22 А500С с шагом 200 мм. Коэффициент использования по армированию составляет $K_f=0,69$.

Прогиб фундаментной плиты (5,4мм) здания не превышает предельно допустимого значения ($L/250=7200/250=28,8$ м), в соответствии с СП 20.13330.2016. Коэффициент использования составляет $K_f=0,19$.

Несущая способность главных стальных балок обеспечена.

По результатам выполненных расчетов с учетом действующих нагрузок и фактическим армированием фундаментной плиты можно сделать вывод, что конструкции находятся в работоспособном состоянии и выдержат предполагаемую нагрузку с сохранением всех эксплуатационных характеристик рассматриваемого здания.

Библиографический список

1. Патент № 2563858 С1 Российская Федерация, МПК E04B 2/84. Способ возведения монолитных стен в несъёмной опалубке : № 2014121030/03 : заявл. 23.05.2014 : опубл. 20.09.2015 / С. М. Анпилов, М. С. Анпилов, Н. Г. Барцева [и др.]. – EDN ZFKOUX.
2. Развитие теории деградации бетонного композита / В. И. Римшин, А. А. Варламов, В. Л. Курбатов, С. М. Анпилов // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 12-17. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-771-6-12-17. – EDN AWEKIX.
3. Патент на полезную модель № 147740 U1 Российская Федерация, МПК E04G 9/00. Несъёмная стеновая опалубка : № 2014128124/03 : заявл. 08.07.2014 : опубл. 20.11.2014 / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, М. М. Гайнуллин [и др.]. – EDN VHRRBD.
4. Патент на полезную модель № 147452 U1 Российская Федерация, МПК E04C 1/00. Сборный строительный элемент: № 2014127996/03 : заявл. 08.07.2014: опубл. 10.11.2014 / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, М. М. Гайнуллин [и др.]. – EDN FVXNNX.
5. Бондаренко, В. М. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях : учебное пособие / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин ; В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. – Москва : Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, 2009. – 87 с. – ISBN 978-5-98523-083-3. – EDN TSRUZZ.
6. Варламов, А. А. Модели поведения бетона. Общая теория деградации: для студентов инженерно-строительных факультетов, получающих образование по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / А. А. Варламов, В. И. Римшин. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 436 с. – (Научная мысль). – ISBN 978-5-16-014615-7. – DOI 10.12737/monography_5c8a716e3c4460.52838016. – EDN JMPWEC.
7. Ларионов, Е. А. Энергетический метод оценки устойчивости сжатых железобетонных элементов / Е. А. Ларионов, В. И. Римшин, Н. Т. Василькова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. – № 2. – С. 77-81. – EDN OUWXYB.
8. Римшин, В. И. Научно-техническая экспертиза конструкций для переоборудования открытых террас в помещениях многофункционального комплекса / В. И. Римшин, П. С. Трунтов, Е. С. Кецо // Жилищное строительство. – 2021. – № 7. – С. 37-41. – DOI 10.31659/0044-4472-2021-7-37-41. – EDN PZGUGE.
9. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse / M. Lukin, V. Martynov, V. Rimshin, I. Aleksiiyevets // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P.577-587. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_50. – EDN KHGIGK.
10. Calculating the Strengthening of Construction Structures Before the Reconstruction of the Building / A. N. Neverov, E. S. Ketsko, P. S. Truntov, V. I. Rimshin // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P. 173-179. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_14. – EDN GHCLDA.
11. Kuzina, E. The Reliability of Building Structures Against Power and Environmental Degradation Effects / E. Kuzina, V. Rimshin, V. Kurbatov // IOP Conference Series: Ma-



terials Science and Engineering: electronic edition, Vladivostok, 02–04 октября 2018 года. – Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042009. – DOI 10.1088/1757-899X/463/4/042009. – EDN WUBLMV.

12. Римшин, В. И. Комплексный подход к выполнению акустических расчетов при техническом обследовании аварийного жилого фонда / В. И. Римшин, П. С. Трунтов, Е. С. Кецко // Строительные материалы. – 2021. – № 6. – С. 21-24. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-792-6-21-24. – EDN CWEQGY.

13. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing / V. I. Rimshin, P. S. Truntov, I. S. Kuzina [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P. 55-73. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_5. – EDN YFEXGC.

14. Ларионов Е.А. Энергетический метод оценки устойчивости сжатых железобетонных элементов / Ларионов Е.А., Римшин В.И., Василькова Н.Т. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 2. С. 77-81.

15. Telichenko V. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone / Telichenko V., Rimshin V., Ereemeev V., Kurbatov V. // В сборнике: MATEC Web of Conferences. – 2018. – С. 02025.

16. Римшин, В. И. Теоретические основы расчета сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном / В. И. Римшин, Ю. О. Кустикова // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2009. – № 2-22. – С. 29-33. – EDN KZJRHV.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 09.02.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 09.02.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья

УДК 539.3 + 624.012

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

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

doi:10.51608/26867818_2023_2_95

УЧЕТ КОНСТРУКТИВНОЙ ОРТОТРОПИИ И НЕЛИНЕЙНОЙ ПРИОБРЕТАЕМОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ

© Авторы 2023

SPIN: 8966-7812

AuthorID: 453902

ORCID 0000-0001-8601-4021

ScopusID: 6507502084

ResearcherID: ABA-7387-2021

ТРЕЩЁВ Александр Анатольевич

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

Российская академия архитектуры и строительных наук;

Тульский государственный университет

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

SPIN: 2473-3900

AuthorID: 1123169

ЮЩЕНКО Никита Сергеевич

аспирант

Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: yushenko_1972@bk.ru)

Аннотация. Рассмотрен подход к построению математической модели поперечного изгиба прямоугольной пластины, не относящейся к классу тонких, обладающей начальной структурной ортотропией и выполненной из композитного материала, особенностью которого является приобретаемая в процессе нагружения нелинейной деформационной неоднородности. Данная неоднородность характеризуется зависимостью деформационно-прочностных свойств структуры пластины от вида напряженного состояния и направлений в ней. Соотношения характерных размеров пластины приняты таковыми, что использование гипотез Кирхгофа-Лява не может быть признано корректным, но вполне допускают переход от исходной трехмерной постановки краевой задачи механики к формулировке ее применительно к деформированию срединной поверхности в соответствии с подходом С.П. Тимошенко, который учитывает влияние сдвигов в поперечных сечениях. В предыдущих работах авторов данной статьи было показано, что, не смотря на наличие совершенно небольшого ряда известных моделей деформирования ортотропных материалов с наводимой нелинейной неоднородностью механических свойств, до настоящего времени нет единого подхода к построению для них уравнений состояния. В этих же работах показано, что вариант определяющих соотношений, предложенный авторами и основанный на использовании методики нормированных пространств напряжений, все же обладает универсальностью, и вполне адекватно с минимальными погрешностями предсказывает напряженно-деформированные состояния рассматриваемых материалов. Данный вариант использован в представленной работе. Математическая модель расчета прямоугольной пластины основана на гибридной форме прямоугольных конечных элементов в авторской интерпретации. Продемонстрированы основные результаты полученных решений.

Ключевые слова: структурная ортотропия; приобретаемая нелинейная неоднородность; прямоугольная пластина; нормированное пространство напряжений; метод конечных элементов; поперечный изгиб; гибридная форма; математическая модель; строительная механика; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Трещёв А.А., Ющенко Н.С. Учет конструктивной ортотропии и нелинейной приобретаемой неоднородности при изгибе прямоугольных пластин средней толщины // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 95-102. doi:10.51608/26867818_2023_2_95.



Original article

CONSIDERATION OF CONSTRUCTIVE ORTHOTROPY AND NONLINEAR ACQUIRED INHOMOGENEITY DURING BENDING OF RECTANGULAR PLATES OF MEDIUM THICKNESS

© The Author(s) 2023

TRESHCHEV Alexander Anatolyevich

Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof.,
Head of the Department
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
Tula State University
(Russia, Tula, e-mail: taa58@yandex.ru)

YUSHCHENKO Nikita Sergeevich

PhD Candidate
Tula State University
(Russia, Tula, e-mail: yushenko_1972@bk.ru)

Abstract. An approach to the construction of a mathematical model of the transverse bending of a rectangular plate that does not belong to the class of thin, has an initial structural orthotropy and is made of a composite material, the peculiarity of which is the nonlinear deformation inhomogeneity acquired during loading. This heterogeneity is characterized by the dependence of the deformation and strength properties of the plate structure on the type of stress state and directions in it. The relations of the characteristic dimensions of the plate are accepted such that the use of the Kirchhoff-Love hypotheses cannot be recognized as correct, but they quite allow for a transition from the initial three-dimensional formulation of the boundary value problem of mechanics to its formulation in relation to the deformation of the median surface in accordance with the approach of S.P. Timoshenko, which takes into account the influence of shifts in cross-sections. In previous works of the authors of this article, it was shown that, despite the presence of a completely small number of known models of deformation of orthotropic materials with induced nonlinear inhomogeneity of mechanical properties, there is still no single approach to constructing equations of state for them. In the same works, it is shown that the variant of the defining relations proposed by the authors and based on the use of the normalized stress spaces technique still has universality, and predicts the stress-strain states of the materials under consideration quite adequately with minimal errors. This option is used in the presented work. The mathematical model for calculating a rectangular plate is based on the hybrid shape of rectangular finite elements in the author's interpretation. The main results of the obtained solutions are demonstrated.

Keywords: structural orthotropy; acquired nonlinear inhomogeneity; rectangular plate; normalized stress space; finite element method; transverse bending; hybrid shape; mathematical model; construction mechanics; safety of constructions

For citation: Treshchev A.A., Yushchenko N.S. Consideration of constructive orthotropy and nonlinear acquired inhomogeneity during bending of rectangular plates of medium thickness // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 95-102. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2023_2_95.

Введение

Интенсивное развитие строительной отрасли вызвало необходимость создания новых строительных материалов, особенностью которых является высокая прочность и жесткость при минимальной массе. К таким материалам относятся полимеры, композиты с использованием волокон бора, базальта и графитов. С другой стороны снижения массы используемых материалов при одновременном повышении деформационно-прочностных показателей конструкции в целом можно добиться путем использования эффективного очертания пространственных элементов. Использование композитных стеклопластиков и графитопластиков наряду с повышением жесткости и прочности конструкций создает предпосылки к увеличению их долговечности благодаря высоким показателям коррозионной стойкости.

Однако указанные материалы обладают определенными структурными особенностями, с которыми «не справляются» традиционные расчетные модели. К таким особенностям относятся структурная ортотропия, физическая нелинейность особого рода и зависимость деформационно-прочностных свойств от вида напряженного состояния, которую можно трактовать как деформационную анизотропию или наведенную неоднородность [1-19].

Отмеченные особенности вызвали к жизни новую ветвь механики, основой которой послужил ряд моделей специальных уравнений состояния, определяющих поведение материалов, обладающих анизотропией двоякого рода [4; 8; 20-27]. Модели уравнений были сформулированы как в квазилинейной, так и в нелинейной формах. При этом нелинейные уравнения не гарантируют более высокую точ-



ность соответствия теоретических расчетов экспериментальным данным по отношению к квазилинейным. Все зависит от механизма учета влияния сложного вида напряженного состояния на параметры тензора податливостей, заложенного в этих моделях. Поэтому, оценивая недостатки различных теорий, нами были предложены уравнения состояния для ортотропных материалов с наводимой деформационной анизотропией, построенные с использованием нормированного пространства напряжений, в квазилинейном [28-30] и нелинейном представлениях [31]. Там же продемонстрированы преимущества и высокая точность введенных соотношений.

Здесь рассматривается построение математической модели поперечного изгиба прямоугольных нетонких пластин, для которых свойства двоякой анизотропии учитываются нелинейными определяющими соотношениями [31].

Построение конечно-элементной модели изгиба плиты

Для оценки напряженно-деформированного состояния ортотропной пластины средней толщины в соответствии с механической модели С.П.Тимошенко геометрические соотношения представим в виде:

$$\begin{aligned} U_1(x_1, x_2, x_3) &= u_1(x_1, x_2) + x_3 \psi_2(x_1, x_2); \\ U_2(x_1, x_2, x_3) &= u_2(x_1, x_2) + x_3 \psi_1(x_1, x_2); \\ U_3(x_1, x_2, x_3) &= w(x_1, x_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1, x_2 – оси декартовой системы координат, привязанные к срединной плоскости пластины; x_3 – перпендикулярная ось к срединной плоскости; $u_1(x_1, x_2)$ – продольные перемещения в срединной плоскости (прогибы); $\psi_1(x_1, x_2) = w_{,2} - \gamma_{23}$, $\psi_2(x_1, x_2) = w_{,1} - \gamma_{13}$ – углы поворота поперечных сечений пластины или срединной поверхности относительно указанных индексами осей; γ_{13}, γ_{23} – поперечные сдвиги в соответствующих сечениях пластины.

В соответствии с установленными перемещениями и с правилами правой системы координат, используемой в МКЭ, определим относительные деформации произвольной точки пластины следующим образом:

$$\begin{aligned} e_{11} &= u_{,1} + x_3 \psi_{2,1}; & e_{22} &= u_{,2} + x_3 \psi_{1,2}; \\ e_{12} &= u_{,2} + u_{,1} + x_3 (\psi_{2,2} - \psi_{1,1}); \\ e_{33} &= 0; & \gamma_{13} &= w_{,1} + \psi_2; & \gamma_{23} &= w_{,2} - \psi_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Матричное уравнение связи тензоров деформаций и напряжений с учетом упрощений типа С.П. Тимошенко (2) для ортотропных материалов с нелинейной зависимостью жесткостных свойств от вида напряженного состояния согласно предложенным в работе [31] определяющим соотношениям можно принять в виде:

$$\{e\} = [P]\{\sigma\}, \quad (3)$$

где

$$\{e\} = \begin{Bmatrix} e_{11} \\ e_{22} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{Bmatrix}; \quad [P] = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & P_{22} & 0 & 0 & 0 \\ & & P_{66} & 0 & 0 \\ & & & sim & P_{44} & 0 \\ & & & & & P_{55} \end{bmatrix};$$

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \\ \tau_{13} \\ \tau_{23} \end{Bmatrix};$$

$$P_{11} = A_{1111}(\sigma_i) + B_{1111}(\sigma_i)\alpha_{11};$$

$$P_{22} = A_{2222}(\sigma_i) + B_{2222}(\sigma_i)\alpha_{22};$$

$$P_{12} = A_{1122}(\sigma_i) + B_{1122}(\sigma_i)(\alpha_{11} + \alpha_{22});$$

$$P_{66} = C_{1212}(\sigma_i); \quad P_{44} = C_{2323}(\sigma_i); \quad P_{55} = C_{1313}(\sigma_i);$$

где $A_{ijkm}(\sigma_i)$, $B_{ijkm}(\sigma_i)$, $C_{ijkm}(\sigma_i)$ – нелинейные жесткостные функции от интенсивности напряжений, зависящие от свойств ортотропного материала;

$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} + 3(\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2 + \tau_{23}^2)}$ – интенсивность напряжений с учетом модельных упрощений;

$\alpha_{ij} = \sigma_{ij} / S$ – упрощенные нормированные напряжения ($i, j = 1, 2$); $S = \sqrt{\sigma_{ij}\sigma_{ij}} =$

$\sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + 2(\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2 + \tau_{23}^2)}$ – норма тензорного пространства напряжений с учетом упрощений.

Нелинейные материальные функции $A_{ijkm}(\sigma_i)$, $B_{ijkm}(\sigma_i)$, $C_{ijkm}(\sigma_i)$, фигурирующие в уравнениях (3), для процесса деформирования композита «углеродное волокно-углерод AVCO Mod 3a» устанавливаются по результатам обработки экспериментов по растяжению и сжатию в главных осях ортотропии, а также на сдвиг в главных плоскостях, которые получены в работе [31]. Все виды экспериментально установленных диаграмм для данного композита заимствованы из публикаций [8; 15-16]. С учетом модельного упрощения задачи материальные функции можно представить в виде:

$$A_{kkkk}(\sigma_i) = 0,5[1/E_k^+(\sigma_i) + 1/E_k^-(\sigma_i)];$$

$$B_{kkkk}(\sigma_i) = 0,5[1/E_k^+(\sigma_i) - 1/E_k^-(\sigma_i)];$$

$$A_{kkmm}(\sigma_i) = -0,5[v_{km}^+(\sigma_i)/E_k^+(\sigma_i) + v_{km}^-(\sigma_i)/E_k^-(\sigma_i)]; \quad (4)$$

$$B_{kkmm}(\sigma_i) = -0,5[v_{km}^+(\sigma_i)/E_k^+(\sigma_i) - v_{km}^-(\sigma_i)/E_k^-(\sigma_i)];$$

$$C_{ppqq}(\sigma_i) = 1/G_{pq}(\sigma_i); \quad (k, m = 1, 2); \quad (p, q = 1, 2, 3),$$

где $E_k^\pm(\sigma_i) = a_k^\pm + m_k^\pm \sigma_i + n_k^\pm \sigma_i^2$;

$$G_{pq}(\sigma_i) = g_{pq} + p_{pq} \sigma_i + q_{pq} \sigma_i^2;$$

$$v_{km}^\pm(\sigma_i) = \lambda_{km}^\pm + \beta_{km}^\pm \sigma_i + \mu_{km}^\pm \sigma_i^2; \quad E_k^\pm(\sigma_i), \quad G_{pq}(\sigma_i), \quad v_{km}^\pm(\sigma_i)$$

– нелинейные аналоги модулей упругости, сдвига и коэффициентов поперечной деформации ортотроп-



ного тела в направлениях главных материальных осей и соответствующих плоскостей (знаком «+» обозначены характеристики, соответствующие осевому растяжению, а знаком «-» – осевому сжатию), являющиеся функциями интенсивности напряжений; $a_k^\pm, m_k^\pm, n_k^\pm, \lambda_{km}^\pm, \beta_{km}^\pm, \mu_{km}^\pm, g_{pq}, p_{pq}, q_{pq}$ – константы алгебраических полиномов, полученные аппроксимацией данных экспериментов (методом наименьших квадратов) по деформированию композита, которые приведены в работе [31].

Обращение матричного уравнения (3) позволяет установить следующие зависимости:

$$\{\sigma\} = [T]\{\varepsilon\}, \quad (5)$$

где $[T] = [P]^{-1}$ – матрица жесткостей, зависящих от вида напряженного состояния и уровня нагружения.

Учитывая, что механическое поведение конструкций не зависит от физической природы материала, из которого они изготовлены, в рамках модели С.П.Тимошенко статические уравнения изгиба пластин представимы в виде:

$$\begin{aligned} N_{11,1} + N_{12,2} = 0; \quad N_{12,1} + N_{22,2} = 0; \quad M_{11,1} + M_{12,2} = Q_1; \\ M_{12,1} + M_{22,2} = Q_2; \quad Q_{1,1} + Q_{2,2} = q(x_1, x_2), \end{aligned} \quad (6)$$

где $N_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} dx_3$; $M_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} x_3 dx_3$; $Q_k = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{k3} dx_3$, $(i, j, k = 1, 2)$; (7)

h – толщина пластины.

Уравнение связи вектора обобщенных усилий $\{M\}$ с обобщенными деформациями, получаемыми срединной поверхностью пластины после интегрирования напряжений (5) по правилам (7) с учетом геометрических зависимостей (2) определится следующим образом:

$$\{M\} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (8)$$

где $\{M\} = \begin{Bmatrix} M_{11} \\ M_{22} \\ M_{12} \\ Q_1 \\ Q_2 \\ N_{11} \\ N_{22} \\ N_{12} \end{Bmatrix}$;

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} & K_{14} & K_{15} & K_{11} & K_{12} & K_{16} \\ & D_{22} & D_{26} & K_{24} & K_{25} & K_{12} & K_{22} & K_{26} \\ & & D_{66} & K_{64} & K_{65} & K_{16} & K_{26} & K_{65} \\ & & & J_{44} & J_{45} & J_{14} & J_{24} & J_{46} \\ & & & & J_{55} & J_{15} & J_{25} & J_{65} \\ & & & & & J_{11} & J_{12} & J_{16} \\ & & & & & & J_{22} & J_{26} \\ & & & & & & & J_{66} \end{bmatrix};$$

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \psi_{2,1} \\ -\psi_{1,2} \\ \psi_{2,2} - \psi_{1,1} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \\ u_{1,1} \\ u_{2,2} \\ u_{1,2} + u_{2,1} \end{Bmatrix};$$

$$J_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} T_{km} dx_3; \quad K_{km} = \int_{-h/2}^{h/2} T_{km} x_3 dx_3;$$

$$D_{pq} = \int_{-h/2}^{h/2} T_{km} x_3^2 dx_3, \quad (9)$$

где $i, j = 1, 2, 4, 5, 6$; $k, m = 1, 2, 4, 5, 6$; $p, q = 1, 2, 6$.

Очевидно, что жесткостные параметры пластины J_{ij}, K_{km}, D_{pq} (9) аналитически неопределимы, так как компоненты матрицы $[T]$ не являются известными функциями координаты x_3 , а нелинейно зависят от характера, степени нагружения конструкции и от вида напряженного состояния, реализуемого в конкретной точке тела пластины. Поэтому для получения результатов интегрирования пластину необходимо условно разделить по толщине на ряд фиктивных слоев в таком количестве, чтобы была обеспечена необходимая точность расчетов. Было принято 21 слой одинаковой толщины (достаточно 13 слоев). Однако интегралы можно вычислять приближенно, разбив пластину по толщине на ряд фиктивных слоев. В целях упрощения фиктивные слои можно принять одинаковыми по толщине. Интегрирование рекомендовано выполнять численно методом Симпсона.

В расчетной модели представим пластину сеткой плоских конечных элементов с разбивкой по толщине на ряд фиктивных слоев. Жесткостные параметры в рамках конкретного конечного элемента будем определять в центре каждого фиктивного слоя и распространять их на весь его объем. Во избежание появления «паразитных жесткостей» при изгибе ортотропных пластин при использовании изопараметрических конечных элементов с учетом поперечных сдвигов здесь были приняты гибридные элементы, основанные на функционале, обоснованном в работах Р.Тong и Т.Т.Н. Pian [32-33]. Впервые, по-видимому, гибридная формулировка простейших гибридных элементов была осуществлена в работах R.D.Cook [34-35]. Полная оригинальная формулировка всех уравнений и матриц, собственных треугольным и прямоугольным гибридным элементам с пятью степенями свободы в узле, основанным на указанном функционале с использованием нелинейных определяющих зависимостей типа (8) подробно обсуждалась в работах [36-39]. Кроме того в этих же

работах проведена оценка сходимости конечно-элементных моделей с учетом разбиения на фиктивные слои. Учитывая, что ортотропный материал пластины обладает ярко выраженной физической нелинейностью, зависящей от вида напряженного состояния, при решении использовалась процедура метода переменных параметров упругости в сочетании с пошаговым нагружением малыми величинами поперечной нагрузки.

Постановка задачи об изгибе прямоугольной плиты

Апробация рассмотренной конечно-элементной модели осуществлена применительно к поперечному изгибу сплошной прямоугольной пластины со следующими габаритными размерами: $a \times b \times h = 1 \times 0,75 \times 0,075$ м, где a и b – размеры пластины в плане, а h – ее толщина, которая принималась в соответствии с классификацией пластин средней толщины при $h = b/10$. Поперечная нагрузка, приложенная к верхней плоскости пластины, соответствует равномерно распределенной интенсивностью q , возрастающей от 0 до 1,45 МПа. Опирание пластины принято в виде жесткого защемления по всему контуру (расчетная схема приведена на рис. 1). Пластина в плане покрывалась сеткой прямоугольных конечных элементов размерностью 16×16 , при этом, как указывалось выше, в каждом КЭ по толщине выделялся 21 фиктивный слой. В качестве материала пластины принимался ортотропный композит «углеродное волокно-углерод AVCO Mod 3a», деформационно-прочностные характеристики которого зависят от вида напряженного состояния [8; 15-16; 31].

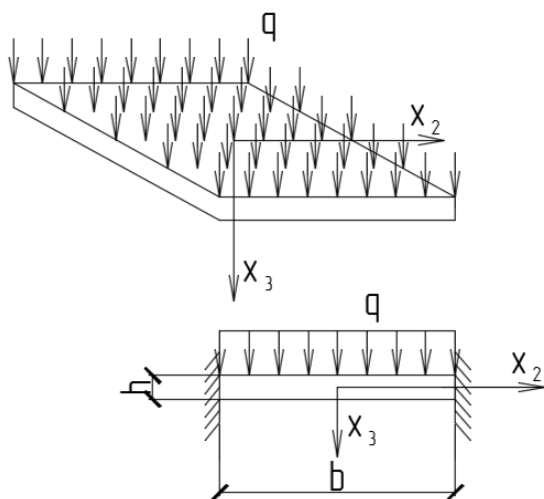


Рис. 1. Расчетная схема жестко защемленной пластины

Граничные условия на контуре пластины формируются путем присвоения нулевых значений подмножеству вектора узловых перемещений ансамбля КЭ, характерному для конкретного опирания или закрепления. Это подмножество перемещений генерируется в ответ на указание последовательности узлов ансамбля и но-

меров перемещений согласно принятой их нумерации внутри узла. Для жесткого защемления пластины обнулялись на контуре узловые перемещения, характеризующие следующие параметры: $u_1 = 0$; $u_2 = 0$; $w = 0$; $\psi_1 = 0$; $\psi_2 = 0$. Процесс приложения нагрузки осуществляется путем задания вектора узловых сил для указанной области ансамбля, которая, в принципе, допускает сведение к силе, приложенной к одному узлу (сосредоточенная сила в точке).

На базе принятой конечно-элементной модели была разработана пошагово-итерационная процедура, реализованная на алгоритмическом объектно-ориентированном языке высокого уровня C++, с применением среды разработки Visual C++ фирмы Microsoft. Количество итераций по методу переменных параметров упругости устанавливалось автоматически при достижении разницы в величинах напряжений между смежными приближениями не более 0,01%, система алгебраических уравнений МКЭ решалась методом Гаусса.

Ниже приведены графические зависимости полученных характерных результатов для расчетных величин. Предварительно была рассмотрена тенденция сходимости МКЭ в зависимости от густоты сетки элементов и дискретизации пластины по толщине. Выбранные параметры были приведены выше.

Демонстрация полученных результатов

Характерные результаты расчета поперечного изгиба жестко защемленной по всему контуру ортотропной прямоугольной пластины, выполненной из композита AVCO Mod 3a, представлены на рис. 2 – 7. При этом рис. 2 и 3 демонстрируют зависимость максимальных прогибов и моментов от уровня интен-

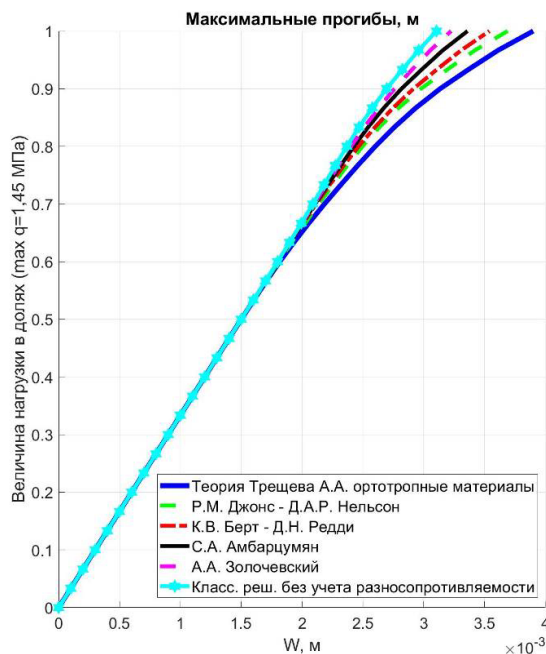


Рис. 2. Влияние величины интенсивности нагрузки на максимальные прогибы

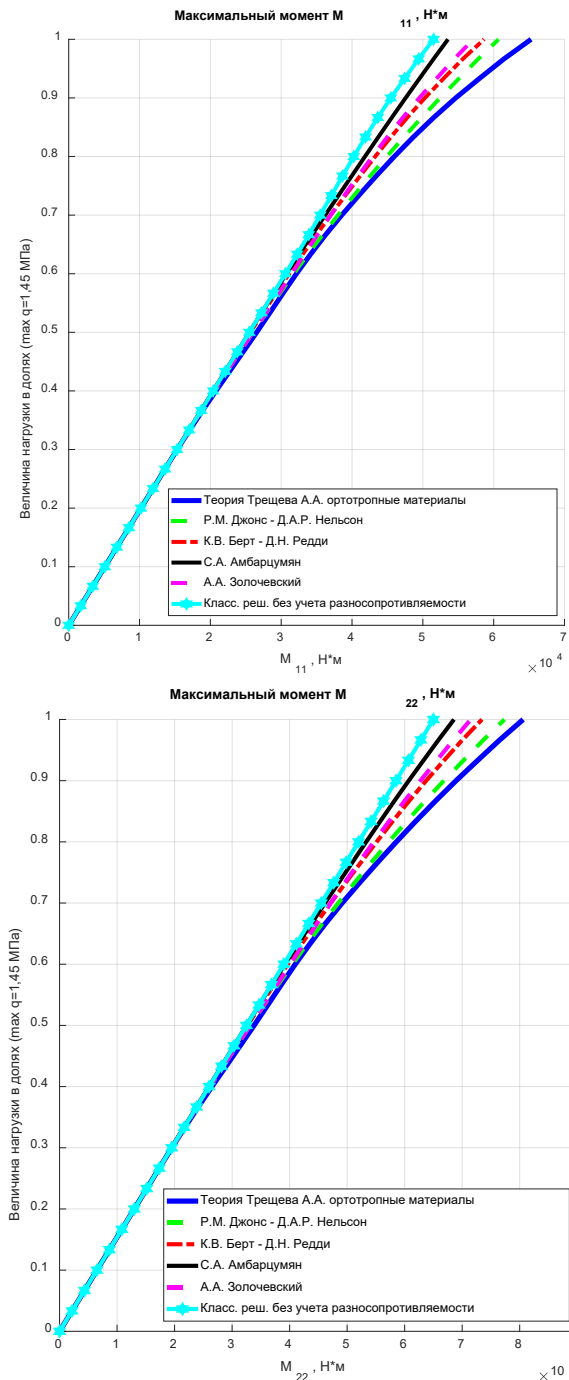


Рис. 3. Влияние величины интенсивности нагрузки на максимальные моменты

сивности поперечной нагрузки, а рис. 4 – 7 характеризуют распределение расчетных величин прогибов и моментов вдоль осей симметрии пластины по длинной и короткой сторонам при фиксированном значении нагрузки $q=1,45$ МПа. При выполнении расчетов по рассматриваемой модели с использованием уравнений (3) – (5) производилось сравнение результатов, получаемых благодаря применению различных вариантов определяющих соотношений для деформационно анизотропных материалов, предложенных Р.М. Джонсом и Д.А.Р. Нельсоном

[15-17], К.В. Бертом и Д.Н. Редди [8-14], С.А. Амбарцумяном [24] и А.А. Золочевским [23], а также без учета их разнородности.

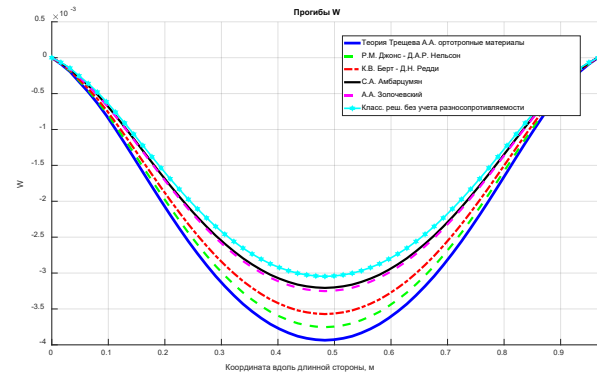


Рис. 4. Распределение прогибов и вдоль длинной стороны пластины

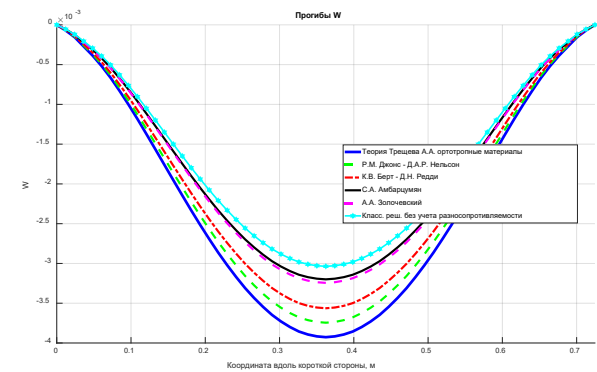


Рис. 5. Распределение прогибов и вдоль короткой стороны пластины

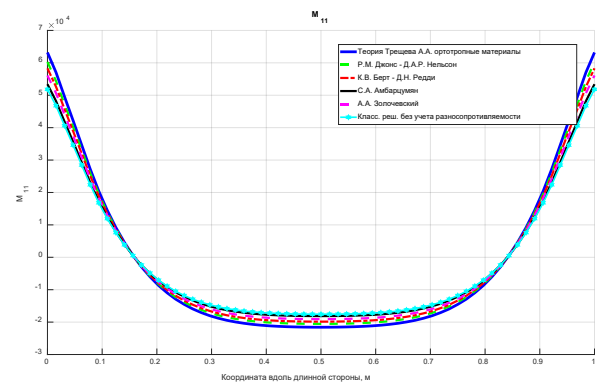


Рис. 6. Распределение моментов M_{11} [кН*м] вдоль длинной стороны

Для более наглядного численного сравнения результатов расчета пластины вдоль длинной стороны, получаемых по различным вариантам уравнений состояния ортотропных материалов, деформационные характеристики которых зависят от вида напряженного состояния, с оценкой погрешности классической теории относительно указанных моделей приведены в табл. 1.

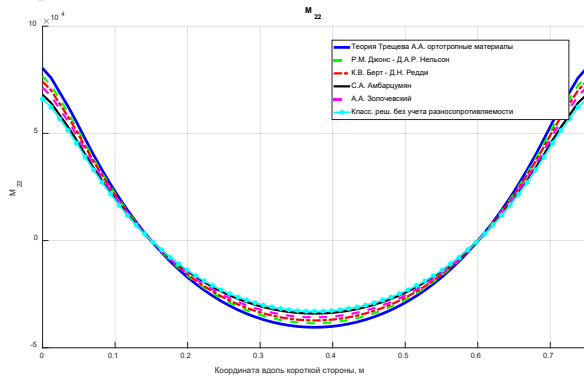


Рис. 7. Распределение моментов M_{22} [кН•м] вдоль короткой стороны

Таблица 1. Результаты расчета пластины по различным моделям

Результаты	Классическое решение	Предложенная модель	R.M. Jones, D.A.R. Nelson	C.W. Bert, J.N. Reddy	A.A. Золочевский	С.А. Амбарцумян
Прогиб w , $м \cdot 10^{-3} / \%$	3,1	3,9/ 25,8%	3,75/ 21%	3,55/ 14,5%	3,25/ 4,8%	3,2/ 3,2%
Напряжение σ_{11} в центре, МПа/%	19	23/ 21%	22/ 15,8%	21/ 10,5%	20/ 5,3%	19,5/ 2,6%
Напряжение σ_{22} в центре, МПа/%	36	46/ 27,8%	44/ 22,2%	42/ 46,7%	38/ 5,6%	37/ 2,8%
Момент M_{11} , кН•м/%	-18	-22/ 22,2%	-21,7/ 20,6%	-21,5/ 19,4%	-20,8/ 15,6%	-18,3/ 1,7%
*Момент M_{22} , (вдоль короткой стороны) кН•м/%	-30	-40/ 33,3%	-38/ 26,7%	-37/ 23,3%	-36/ 20%	-34/ 13,3%

Обсуждение полученных результатов

Анализ результатов расчета прямоугольной жестко заземленной пластины, обладающей структурной ортотропией, осложненной нелинейной зависимостью жесткостных свойств материала от вида напряженного состояния, позволяет утверждать, что учёт подобных особенностей дает возможность значительно уточнить результаты деформационно-прочностного расчета конструкции (погрешность результатов, получаемых по классической теории упругости ортотропных материалов, представлена в табл. 1 и на рис. 2 – 7). Кроме того результаты расчета пластины по предложенной модели не противоречат, а лишь уточняют решения, вытекающие из других теорий благодаря особенности более гибкого учета нелинейных свойств материала, что подтверждено рис. 2 – 7.

Выводы

Анализируя полученные результаты расчета ортотропной пластины средней толщины при попе-

речном нагружении и жестком заземлении по контуру с учетом приобретаемой в процессе деформирования неоднородности распределения механических свойств с учетом физической нелинейности, позволяет утверждать, что все это ведет к изменению научных мировоззрений при оценке состояний конструкций. Это объясняется особенностью ранее не учитываемых свойств материалов пространственных конструкций, которое определяется кардинальным их отличием от классических нелинейно упругих, хотя и в рамках структурной ортотропии. В частности, выявлены очевидные погрешности в определении параметров НДС традиционной нелинейной теории деформирования ортотропных пластин. При этом, как естественный фактор обнаружено нелинейное распределение напряжений по толщине.

Библиографический список

1. Розе, А.В. Трехармированные тканые материалы / А.В. Розе, И.Г. Жигулин, М.Н. Душин // Механика полимеров. – 1970. – №3. – С. 471–476.
2. Каргин, В.А. Энциклопедия полимеров / В.А.Каргин. – М.: Советская энциклопедия. – 1977. – Т. 3. – 1152 с.
3. О нелинейном деформировании углепластиков: эксперимент, модель, расчёт / Е. В. Амелина, С. К. Голушко, В. С. Ерасов [и др.] // Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 27-52. – EDN UQCKLZ.
4. Идентификация механических характеристик армированных волокнами композитов / Р. А. Каюмов, С. А. Луканкин, В. Н. Паймушин, С. А. Холмогоров // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2015. – Т. 157, № 4. – С. 112-132. – EDN VBEYRR.
5. Калинка, Ю.А. Исследование физико-механических свойств хаотически наполненных стеклопластиков / Ю.А.Калинка, С.М.Боровикова // Механика полимеров. – 1971. – №3. – С. 411–415.
6. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts / L. N. Shafigullin, A. A. Bobrishev, A. N. Shafigullina [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, No. 23. – P. 43758-43762. – EDN WOTQAX.
7. Production of sulfur composite materials from sulfur containing waste for construction applications / A. A. Yusupova, R. T. Akhmetova, A. A. Treshchev [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, No. 4. – P. 1411-1419. – EDN XFPUMJ.
8. Bert C.W. Models for Fibrous Composite with Different Properties in Tension and Compression / C.W. Bert // Transaction of the ASME. – 1977. – Vol. 99 N. – Ser. D. – No. 4. – P. 344–349.
9. Bert C.W. On the Behavior of Plates Laminated of Bimodulus Composite Materials / C.W. Bert, L.N. Reddy // ZAMM. – 1982. – V. 62. – № 6. – P. 213 – 219.
10. Bert C.W. Bending of Thick Rectangular Plates Laminated of Bimodulus Composite Materials / C.W. Bert, J.N. Reddy, W.C. Chao // AIAA Journal. – 1981. – Vol. 19. – No. 10. – P. 1342–1349.
11. Bert C.W. Deflection of Thick Beams of Multimodular Materials / C.W. Bert, F. Gordaninejad // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1984. – Vol. 20. P. – 479–503.



12. Reddy J.N. Nonlinear bending of bimodular-material plates / J.N. Reddy, W.C. Chao // *J. Solids a. Structures*. – 1983. – Vol. 19. – N 3. – P. 229 – 237.
13. Hsu Y.S. Thermoelasticity of Circular Cylindrical Shells Laminated of Bimodulus Composite Materials / Y.S. Hsu, C.W. Bert, J.N. Reddy // *Journal of Thermal Stresses*. 1981. Vol. 4. No. 2. Pp. 155–177.
14. Reddy J.N. Thermal bending of thin rectangular plates of bimodulus composite materials / J.N. Reddy, C.W. Bert, Y.S. Hsu, V.S. Reddy // *Journal Mach. Eng. Sci.* – 1980. – Vol. 22. – No. 6. – P. 297–304.
15. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Material / R.M. Jones // *AIAA Journal*. – 1980. – V. 18. – № 8. – P. 995 – 1001.
16. Nelson D.A. Theoretical and experimental correlation of material models for non-linear deformation of graphite / D.A. Nelson, R.M. Jones // *AIAA Journal*. – 1976. – V. 14 – №10. – P. 1427–1435.
17. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M. Jones // *AIAA Journal*, 1977. Vol. 15. No. 1. P. 16 – 25.
18. Tabaddor F. Two-Dimensional Bi-Linear Orthotropic Elastic Materials / F. Tabaddor // *Journal of Composite Materials*. – 1969. – Vol. 3. – P. 725–727.
19. Мкртчян, Р.Е. Закон упругости для слоистого материала, разносопротивляющегося деформациям растяжения и сжатия / Р.Е. Мкртчян // *Механика полимеров*. – 1978. – №2. – С. 199–203.
20. Ломакин, Е.В. Соотношения теории упругости для анизотропного тела, деформационные характеристики которых зависят от вида напряженного состояния / Е.В. Ломакин // *Изв. АН СССР. МТТ*. – 1983. – №3. – С. 63–69.
21. Ramana Murthy P.V. Finite Element Analysis of Laminated Anisotropic Beams of Bimodulus Materials / P.V. Ramana Murthy, K.P. Rao // *Computers and Structures*. – 1984. – Vol. 18. – No. 5. – P. 779–787.
22. Schmueser D.W. Nonlinear Stress-Strain and Strength Response of Axisymmetric Bimodulus Composite Material Shells / D.W. Schmueser // *AIAA Journal*. – 1983. – V. 21. – №12. – P. 1742 – 1747.
23. Золочевский, А.А. Напряженно-деформированное состояние в анизотропных оболочках из разномодульных композитных материалов / А.А. Золочевский // *Механика композитных материалов*. – 1986. – №1. – С. 166–168.
24. Амбарцумян, С.А. Основные уравнения и соотношения разномодульной теории упругости анизотропного тела / С.А. Амбарцумян // *Изв. АН СССР. МТТ*. – 1969. – №3. – С. 51–61.
25. Нгуен, Ш. Т. Идентификация параметров квадратичной модели упругого анизотропного материала / Ш. Т. Нгуен, Д. В. Христич // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния*. – 2021. – № 3(49). – С. 3-11. – DOI 10.37972/chgpu.2021.49.3.001. – EDN IMUCUB.
26. Нгуен, Ш. Т. Нелинейные модели упругости ортотропного материала / Ш. Т. Нгуен // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния*. – 2021. – № 4(50). – С. 25-32. – DOI 10.37972/chgpu.2021.50.4.004. – EDN VUUESW.
27. Khristich D.V. Determining the type of initial anisotropy of elastic material from a series of experiments / D.V. Khristich, S.T. Nguyen // *IPO Conference Series: Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1479. – 012139. – 12 p.
28. Трещев, А. А. Вариант модели деформирования ортотропных композитных материалов / А. А. Трещев, Ю. А. Завьялова, М. А. Лапшина // *Эксперт: теория и практика*. – 2020. – № 3(6). – С. 62-68. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10027. – EDN SWJGCO.
29. Defining equations of deformation of materials with double anisotropy / A.A. Treschev, Yu.A. Zavyalova, M.A. Lapshina, A.E. Gvozdev, O.V. Kuzovleva, E.S. Krupitsyn // *Chebyshevskii sbornik*. – 2021. – Vol. 22. – No. 4. – P. 369 – 383.
30. Трещев, А. А. О концентрации напряжений в композитных материалах / А. А. Трещев // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2021. – № 11(755). – С. 120-133. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-755-11-120-133. – EDN RHSEGA.
31. Nonlinear mathematical model of relation of second-rank tensors for composite materials / A.A. Treshchev, A.E. Gvozdev, N.S. Yushchenko, A.A. Kalinin // *Chebyshevskii sbornik*. – 2022. – Vol. 23. – No. 3. – P. 224 – 237.
32. Tong P. A variation principle and the convergence of a finite-element method based on assumed stress distribution / P. Tong, T.H.H. Pian // *Int. J. Solids Struct.* – 1969. – P. 463–472.
33. Pian T.H.H. Derivation of element stiffness matrices by assumed stress distribution / T.H.H. Pian // *AIAA Journal*. – 1967. – Vol 5. – P. 1332–1336.
34. Cook R.D. Two hybrid elements for analysis of thick thin and sandwich plates / R.D. Cook // *Int. J. num. Meth. Engng.* – 1972. – Vol. 5. – P. 277–288.
35. Cook R.D. Some quadrilateral "hybrid" finite elements / R.D. Cook, J.K. Al-Abdulla // *AIAA Journal*. – 1969. – Vol. 7. – N. 11. – P. 2184–2185.
36. Артемов, А.Н. Поперечный изгиб железобетонных плит с учетом трещин / А.Н. Артемов, А.А. Трещев // *Изв. вузов. Строительство*. – 1994. – №9 – 10. – С. 7–12.
37. Теличко, В. Г. Гибридный конечный элемент для расчета плит и оболочек с усложненными свойствами / В. Г. Теличко, А. А. Трещев // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2003. – № 5(533). – С. 17-23. – EDN PJIGPV.
38. Теличко, В. Г. Гибридный конечный элемент для моделирования пространственных машиностроительных конструкций с усложненными свойствами / В. Г. Теличко, А. А. Трещев // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. – 2004. – № 1. – С. 61-65. – EDN HLAOR.
39. Трещев, А.А. Теория деформирования пространственных железобетонных конструкций / А.А. Трещев, В.Г. Теличко – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2019. – 386 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 15.05.2023.



Научная статья

УДК 539.3

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

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

doi:10.51608/26867818_2023_2_103

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА БРУСА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ПРОГИБ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

© Авторы 2023
SPIN: 5689-8546
AuthorID: 482896

ШЛЯХОВ Станислав Михайлович
доктор физико-математических наук, профессор кафедры строительных материалов, конструкций и технологий
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. (Россия, Саратов, e-mail: orifelwi@mail.ru)

SPIN-код:3064-7492
AuthorID:356754

КРИВУЛИНА Эльвира Федоровна
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов, конструкций и технологий
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. (Россия, Саратов, e-mail: orifelwi@mail.ru)

Аннотация. Статья посвящена проблеме исследования роли пористости материала при деформировании балки консольного типа в случае поперечного изгиба. Введены гипотезы, упрощающие решение поставленной задачи. Рассматриваются короткие и протяженные балки. Дана количественная оценка соотношения длины балки к размерам поперечного сечения при расчете деформаций сдвига коротких и длинных балок.

Ключевые слова: балка; изгиб; пористость; сдвиг; строительная механика; безопасность объектов строительства

Для цитирования: Шляхов С.М., Кривулина Э.Ф. Влияние пористости материала бруса прямоугольного сечения на прогиб при поперечном изгибе // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 103-106. doi:10.51608/26867818_2023_2_103.

Original article

DETERMINATION ALLOWED AND LIMITING LOADS ON BEAM CIRCULAR CROSS-SECTION FROM POROUS MATERIAL AT TORSION

© The Authors 2023

SHLYAKHOV Stanislav Mikhailovich
Doctor of physical and mathematical sciences, Professor
of the Department of Building Materials, Constructions and Technologies
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (Russia, Saratov, e-mail: orifelwi@mail.ru)

KRIVULINA Elvira Fedorovna
Candidate of Technical sciences, Associate Professor,
Department of Building Materials, Constructions and Technologies
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (Russia, Saratov, e-mail: orifelwi@mail.ru)

Abstract. The paper investigates the effect of material porosity in the deformation of a cantilever beam in the case of bending. Simplifying hypotheses are introduced. Short and extended beams are considered. The ratio of beam length to cross-sectional dimensions in calculating shear deformations of short and long beams is evaluated.

Keywords: beam; bending; porosity; shear; construction mechanics, safety of constructions



For citation: Shlyakhov S.M., Krivulina E.F. Determination allowed and limiting loads on beam circular cross-section from porous material at torsion // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 103-106. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_103.

Цель настоящей работы – дать качественную и количественную оценку влияния пористости материала на напряженно-деформированное состояние бруса при его поперечном изгибе.

В основу решения поставленной задачи положена гипотеза сплошности материала, но с механическими характеристиками, скорректированными на пористость.

Рассмотрим прямой брус прямоугольного поперечного сечения с рациональным распределением пористости по его высоте в состоянии поперечного изгиба. Поперечную силу Q полагаем по длине бруса постоянной. Пористость распределяется по сечению по закону квадратной параболы (рис. 1)

$$P = P_0 \left(1 - \frac{4y^2}{h^2}\right). \quad (1)$$

Представленный закон распределения пористости по сечению близок к рациональному [1] для классических (длинных) балок. Расчет на прочность и жесткость ведется по максимальным нормальным напряжениям. Роль касательных напряжений в таких балках незначительна. Однако для коротких балок, высота сечения которых становится соизмеримой с длиной, роль касательных напряжений возрастает, и деформация может стать соизмеримой с деформацией, обусловленной нормальными напряжениями.

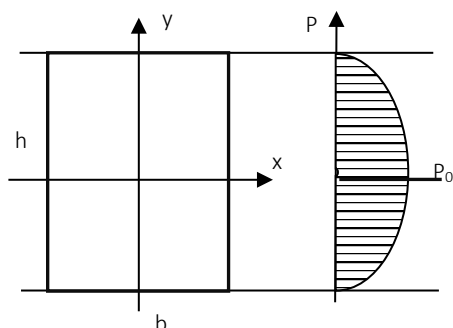


Рис. 1. Распределение пористости по сечению

Оценим сначала роль касательных напряжений в оценке деформаций сдвига для бруса пористой структуры. Согласно закону Гука деформация сдвига описывается формулой $\gamma = \frac{1}{G} \tau$.

Представим закон распределения касательных напряжений по аналогии со сплошным брусом в виде формулы

$$\tau = G\gamma = \omega G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right), \quad (2)$$

где параметр ω подлежит определению.

На основе экспериментальных данных [2-3] модуль сдвига $G(P)$ аппроксимируем полиномом

$$G(P) = a_1 + a_2P + a_3P^2. \quad (3)$$

Примем брус выполненным из пористого железа. В этом случае коэффициенты a_1, a_2, a_3 в формуле (3) будут следующие:

$$\begin{aligned} a_1 &= 0,805 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \\ a_2 &= -1,737 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \\ a_3 &= 0,359 \cdot 10^5 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (4)$$

На основании (1) и (3) модуль сдвига $G(P)$ представится в виде следующей функции

$$G(P) = G(y) = a_1 + a_2P_0 \left(1 - \frac{4y^2}{h^2}\right) + a_3P_0^2 \left(1 - \frac{4y^2}{h^2}\right)^2. \quad (5)$$

Из условия равновесия следует, что величина касательных напряжений приводит при их суммировании по высоте сечения к поперечной силе

$$Q = \iint_A \tau dA = 2\omega b \int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) dy. \quad (6)$$

Из выражения (6) определяем параметр ω

$$\omega = \frac{Q}{2b \int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) dy}. \quad (7)$$

Выполняя интегрирование, на основании (1), (2), (3) получим

$$\int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) dy = h^3 \cdot 10^3 (83,333a_1 + 66,666a_2P_0 + 57,143a_3P_0^2).$$

В частном случае для сплошного материала ($P=0$) полученный интеграл равен

$$\int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) dy = \frac{h^3 a_1}{12}.$$

Соответственно имеем $a_1 = G$, и тогда получим

$$\omega = \frac{Q}{2I_x G}.$$

Следовательно, для пористого материала можно записать

$$\omega = \frac{Q}{2I_x G} \cdot \frac{a_1}{10^3(83,333a_1 + 66,666a_2P_0 + 57,143a_3P_0^2)}. \quad (8)$$

Отметим, что в частном случае сплошного сечения на основании формул (2), (8), определяя касательные напряжения, будем иметь

$$\tau = G\gamma = \frac{Q}{2I_x} \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right),$$

откуда вытекает известная формула Журавского для τ_{max} при $y = 0$

$$\tau_{max} = \frac{3Q}{2bh}.$$

Для оценки влияния касательных напряжений на деформированное состояние бруса оценим роль τ в деформации бруса при сдвиге и определим их влияние на прогиб, дополнительный к перемещениям от изгибающего момента.

Рассмотрим схему деформации сдвига поперечной силой (рис. 2).

Поперечная сила в сечении балки равна $Q = T$. Величина dy_Q будет дополнительным пере-



мещением от сдвига. Элементарная работа силы T на перемещении сдвига равна $dA_T = \frac{1}{2} Q dy_Q$ и равна потенциальной энергии $dU_Q = dA_T$.

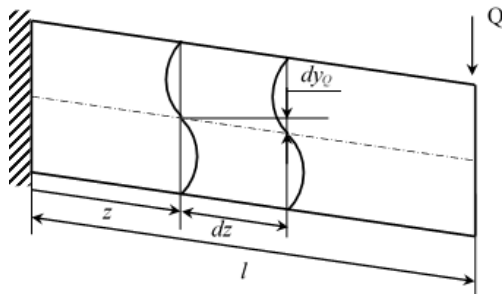


Рис. 2. Схема деформации сдвига

Поскольку касательные напряжения переменны по сечению, то удельная потенциальная энергия сдвига определится формулой $a_\tau = \frac{\tau^2}{2G}$. Для элементарного объема эта энергия выразится формулой

$$dU_Q = 2 \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{1}{2G} \tau^2 b dy dz = b dz \int_0^{\frac{h}{2}} \omega^2 G \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 dy.$$

Приравняв dA_T к dU_Q , получим

$$\frac{1}{2} Q dy_Q = b dz \int_0^{\frac{h}{2}} \omega^2 G \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 dy. \quad (9)$$

Подставляя (7) в (9) и интегрируя по z , получим

$$y_Q = \frac{Qz}{2b} \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 dy}{\left(\int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) dy \right)^2} + C_Q, \quad 0 \leq z \leq l.$$

Постоянную интегрирования C_Q определим из условия $y_Q|_{z=0} = 0$, значит, $C_Q = 0$.

$$y_Q = \frac{Qz}{2b} \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 dy}{\left(\int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) dy \right)^2}. \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет найти перемещение от сдвига в любом сечении балки.

При $z = l$, $Q = T$ получим сдвиг на конце консоли

$$y_Q = \frac{Ql}{2b} \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 dy}{\left(\int_0^{\frac{h}{2}} G(y) \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) dy \right)^2}. \quad (11)$$

Обратимся к частному случаю – сплошному сечению. Имеем $G(y) = const$. Формула (11) примет вид

$$y_Q = \frac{Ql}{2Gb} \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{\left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 dy}{\left(\int_0^{\frac{h}{2}} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) dy \right)^2}. \quad (12)$$

Выполняя интегрирование, получим

$$y_Q = 1,2 \frac{Ql}{Gbh}. \quad (13)$$

Полученный результат совпадает с известным решением для сплошной консольной балки [4].

Рассмотрим теперь случай пористого материала.

Подставляя функцию $G(y)$, выраженную формулой (5), в формулу (11) и выполняя интегрирование, получим

$$y_Q = \frac{Ql}{2bh} \frac{\left(16,667a_1 + 14,286a_2P_0 + 12,698a_3P_0^2 \right)}{\left(83,333a_1 + 66,66a_2P_0 + 57,143a_3P_0^2 \right)^2}. \quad (14)$$

Поскольку коэффициент $a_1 \approx G$ – близок к модулю сдвига сплошного бруса, – формулу (14) можно представить в виде

$$y_Q = \frac{Ql}{Gbh} K^*, \quad (15)$$

где

$$K^* = \frac{a_1}{2} \frac{\left(16,667a_1 + 14,286a_2P_0 + 12,698a_3P_0^2 \right)}{\left(83,333a_1 + 66,66a_2P_0 + 57,143a_3P_0^2 \right)^2}. \quad (16)$$

В частном случае сплошного бруса получаем

$$K^* = 5 \cdot 10^2 a_1 \frac{\left(\frac{16,667a_1}{(83,333a_1)^2} \right)}{1} = 1,2 = K.$$

То есть для сплошного бруса приходим к известному результату (13).

Для численной оценки влияния пористости на деформацию сдвига рассмотрим пример расчета y_Q при $P_0 = 0,2$. Параметр K^* на основании (4), (16) будет равен $K^* = 1,732$.

Отнеся K^* к значению K сплошного бруса, получим $\frac{K^*}{K} = \frac{1,732}{1,2} = 1,44$.

Прогиб от сдвига за счет пористости возрос в 1,44 раза.

Как видно из расчета, пористость существенно влияет на деформацию сдвига, поскольку максимальная пористость приходится за зону максимальных касательных напряжений.

Рассмотрим теперь влияние изгибающего момента на прогиб конца консоли для сплошного и пористого сечений.

В случае сплошного сечения формула прогиба имеет вид $\delta_0 = \frac{Pl^3}{3EI_x}$. Здесь для бруса, выполненного из железа, имеем $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $I_x = \frac{bh^3}{12}$.

Отсюда получаем формулу прогиба

$$\delta_0 = \frac{4Pl^3}{2,1 \cdot 10^5 bh^3}. \quad (17)$$

Для пористого железа на основании экспериментов [2-3] имеем

$$E = b_1 + b_2P + b_3P^2, \quad (18)$$

где $b_1 = 2,09285 \cdot 10^5$ МПа,

$$b_2 = -5,35 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad (19)$$

$$b_3 = 3,21428 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Прогиб конца консоли для пористого бруса без учета сдвига определится по формуле $\delta_{P_0} = \frac{Pl^3}{3B}$, где B – изгибная жесткость пористого бруса, вычисляемая по формуле

$$B = 2b \int_0^{\frac{h}{2}} E(y) y^2 dy, \quad (20)$$

где $E(y)$ выражается формулой



$$E(y) = b_1 + b_2 P(y) + b_3 P^2(y). \quad (21)$$

Здесь по-прежнему $P(y)$ – функция распределения пористости по высоте сечения, определяемая формулой (1).

На основании (1) и (21) получаем

$$E(y) = b_1 + b_2 P_0 \left(1 - \frac{4}{h^2} y^2\right) + b_3 P_0^2 \left(1 - \frac{4}{h^2} y^2\right)^2, \quad (22)$$

что при использовании формул (20), (21) дает

$$B = \frac{bh^3}{12} (b_1 + 0,2b_2 P_0 + 0,114285b_3 P_0^2). \quad (23)$$

Соответственно получим

$$\delta_{P_0} = \frac{TI^3}{3B} = \frac{T4l^3}{bh^3} \lambda, \quad (24)$$

где

$$\lambda = \frac{1}{b_1 + 0,2b_2 P_0 + 0,114285b_3 P_0^2}. \quad (25)$$

Для оценки влияния пористости на прогиб консоли найдем отношение

$$\frac{\delta_{P_0}}{\delta_0} = \frac{4TI^3}{bh^3} \lambda \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 bh^3}{T4l^3} = 21,5 \cdot 10^5 \lambda.$$

Для примера $P_0 = 0,2$ получаем

$$\frac{\delta_{P_0}}{\delta_0} = \frac{2,1}{2,09285 - 0,214 + 0,014674} = 1,111.$$

Таким образом, влияние пористости на прогиб консоли снова идет в сторону увеличения, но не столь интенсивно, как ее влияние на сдвиг. Обусловлено это тем обстоятельством, что при изгибе максимальная пористость приходится на зону ненапряженного нейтрального слоя.

Полный прогиб балки на конце консоли равен сумме прогибов от изгибающего момента и от поперечной силы.

Для сплошного бруса получаем

$$\delta = \frac{TI^3}{3EI_x} + 1,2 \frac{Ql}{bhG} = \frac{4TI^3}{Ebh^3} + 1,2 \frac{Ql}{bhG}. \quad (26)$$

Для бруса пористой структуры имеем

$$\delta_P = \frac{4TI^3}{bh^3} \lambda + \frac{Ql}{bhG} K^*, \quad (27)$$

где K^* определяется по формуле (16), λ определяется по формуле (25).

Анализируя полученные результаты видим, что роль сдвиговых деформаций при поперечном изгибе балки зависит от отношения длины балки l к высоте ее поперечного сечения h . Чем это отношение больше, тем роль сдвига меньше, и наоборот. Следовательно, при проектировании коротких пористых балок следует иметь в виду, что при определенной геометрии балки пористость может дать существенный результат.

Рассмотрим пример изгиба короткой балки

$$b = 5 \text{ см}, h = 10 \text{ см}, l = 0,4 \text{ м}, T = Q = 37,5 \text{ кН}, \frac{l}{h} = 4.$$

Материал сплошного сечения – железо, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа. Примем пористость $P_0 = 0,2$.

1. Сплошное сечение

$$\delta_T = \frac{TI^3}{3EI_x} = \frac{4TI^3}{Ebh^3} = \frac{4 \cdot 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4^3}{2 \cdot 10^5 bh^3} = 914,3 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$\delta_Q = 1,2 \frac{Ql}{bhG} = \frac{1,2 \cdot 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 45 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Полное перемещение сплошной балки с учетом сдвига

$$\delta = \delta_T + \delta_Q = 959,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Влияние сдвига на прогиб сплошной балки

$$\frac{\delta - \delta_T}{\delta_T} \cdot 100\% = \frac{959,3 - 914,3}{914,3} \cdot 100\% = 4,9\%.$$

Следовательно, сдвиг увеличил изгибный прогиб на 5%.

2. Пористое сечение

$$\delta_{TP} = \frac{4TI^3}{Ebh^3} \frac{\delta_{P_0}}{\delta_0} = 914,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1,111 = 1015,8 \cdot 10^{-6} \text{ м} - \text{перемещение в пористой балке за счет сдвига,}$$

$$\delta_{QP} = 45 \cdot 10^{-6} \frac{K_1}{K_2} = 45 \cdot 10^{-6} \cdot 1,44 = 64,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Полное перемещение в пористой балке

$$\delta_P = \delta_{TP} + \delta_{QP} = 1080,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Относительное перемещение влияние пористости и сдвига на прогиб балки

$$\frac{\delta_P - \delta_T}{\delta_T} \cdot 100\% = \frac{1080,6 - 914,3}{914,3} \cdot 100\% = 18\%,$$

значит, сдвиги пористость в балке увеличивают прогиб на 18 % по сравнению со сплошной балкой без учета сдвига.

Полученные в статье расчетные формулы позволяют заранее оценить необходимость учета или неучета роли пористости материала при проектировании в строительной индустрии балочных конструкций, а также открывают путь к оптимальному проектированию конструкций, за счет управления свойствами материала по их поперечному сечению.

Библиографический список

1. Шляхов, С. М. Метод последовательных приближений в задаче рационального распределения пористости при чистом изгибе бруса прямоугольного сечения / С. М. Шляхов, Д. Ю. Гаврилов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2016. – № 3(29). – С. 122-127. – EDN YIONRD.
2. Кашталаян, Ю. А. Характеристики упругих материалов при высоких температурах / Ю. А. Кашталаян. – Киев: Наукова думка, 1970. – 112 с.
3. Белов, С. В. Пористые металлы в машиностроении / С. В. Белов - М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
4. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. - М.: Физматгиз, 1959. - 856 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 15.05.2023.

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

Научная статья

УДК 001.38

ГРНТИ: 12.41: Организация науки. Политика в области науки

doi:10.51608/26867818_2023_2_107

РАНЖИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ GHP-ИНДЕКСА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОЛЛЕКТИВА УЧЕНЫХ С РАВНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ИНДЕКСОВ ХИРША

© Автор 2023

SPIN: 6396-2756

AuthorID: 524983

ORCID: 0000-0002-7546-661X

ScopusID: 7005769656

ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич

доктор технических наук, профессор, кафедры «Математика и моделирование»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: pv39@mail.ru)

Аннотация. Проблема применения алгоритма ранжирования ученых по показателям их научной деятельности, более совершенного, чем индекс Хирша, продолжает оставаться актуальной для российских и зарубежных ученых. В статье рассмотрен наиболее часто возникающий случай ранжирования коллектива ученых, имеющих равные значения индекса Хирша при различных массивах публикаций и их цитированиях.

Цель исследования обусловлена существованием более совершенных подходов оценивания эффективности публикационной деятельности ученых, позволяющих проводить ранжирование в случаях, когда индекс Хирша не применим к группе ученых из-за его равенства у каждого из них.

К настоящему времени предложено ряд модификаций, позволяющих нивелировать тот или иной недостаток индекса Хирша. В их числе алгоритм построения GHP – индекса, который учитывает все публикации автора и все их цитирования. Доказательство в работе его применимости базируется на специальном структурированном исходном массиве информации о научной деятельности ученого. Для этого информация структурно представляется в виде цитирований всех публикаций трех следующих матриц: первая следует из построения индекса Хирша; вторая содержит часть цитирований публикаций, которые принимали участие в формировании матрицы Хирша, но не вошли в нее; третья включает все цитирования, не вошедшие в первые две. Алгоритм построения индекса базируется на вычислении евклидовой нормы трех матриц цитирования.

На примере выборки из РИНЦ коллектива ученых с равным индексом Хирша показана возможность избежать опасности некачественных оценок их творческой деятельности. Алгоритм позволяет существенно снизить риск ошибочного построения ранжиратора всего коллектива ученых по результатам их творческой деятельности, выполненного с помощью широко применяемого в научных кругах индекса Хирша.

Ключевые слова: индекс; цитирование; научные труды; ученый; творческая деятельность; векторные компоненты; евклидова норма; квадрат; рейтинг

Для цитирования: Герасименко П.В. Ранжирование с помощью GHP-индекса научной деятельности коллектива ученых с равными значениями индексов Хирша // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 107-111. doi:10.51608/26867818_2023_2_107.

Original article

USING THE GHP-INDEX TO RANK A TEAM OF SCIENTISTS WHO HAVE EQUAL VALUES OF THE HIRSCH INDICES

© The Author(s) 2023

GERASIMENKO Petr Vasilyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mathematics and Modeling
St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

(Russia, Saint Petersburg, e-mail: pv39@mail.ru)

Abstract. The problem of applying an algorithm for ranking scientists by indicators of their scientific activity, which is more advanced than the Hirsch index, continues to be relevant for Russian and foreign scientists. The article considers the most frequently occurring case of ranking a team of scientists with equal values of the Hirsch index for various arrays of publications and their citations.



The purpose of the study is due to the existence of more advanced approaches to evaluating the effectiveness of the publication activities of scientists, allowing ranking in cases where the Hirsch index is not applicable to a group of scientists because of its equality for each of them.

To date, a number of modifications have been proposed that make it possible to neutralize one or another disadvantage of the Hirsch index. Among them is the algorithm for constructing the GHP-index, which takes into account all the author's publications and all their citations. The proof of its applicability in the work is based on a special structured source array of information about the scientific activity of a scientist. To do this, the information is structurally presented in the form of citations of all publications of the following three matrices: the first follows from the construction of the Hirsch index; the second contains part of the citations of publications that participated in the formation of the Hirsch matrix, but were not included in it; the third includes all citations that were not included in the first two. The algorithm for constructing the index is based on the calculation of the Euclidean norm of three citation matrices.

Using the selection from the RSCI (Russian Science Citation Index) of scientists with equal Hirsch index, authors show the possibility of avoiding the danger of poor-quality assessments of their creative activity. The algorithm makes it possible to significantly reduce the risk of erroneous ranking of scientists based on the results of their creative activity, performed with the help of the Hirsch index widely used in scientific circles.

Keywords: index; citation; scientific papers; scientist; creative activity; vector components; Euclidean norm; square; rating

For citation: Gerasimenko P.V. Using the GHP-index to rank a team of scientists who have equal values of the Hirsch indices // Expert: theory and practice. 2023. № 2 (21). Pp. 107-111. (InRuss.). doi:10.51608/26867818_2023_2_107.

Введение

В настоящее время в разных странах мира решение задач поощрения ученых базируется на основе анализа результатов научной продуктивности ученых. Несмотря на огромное число работ, посвященных проблеме оценки творческой деятельности ученых, сегодня она продолжает оставаться не до конца решенной. На её решение направлены огромные усилия, которые осуществляются по отдельным направлениям. Одно из таких направлений ведется за счет оценки публикационной деятельности ученых. Способствует развитию направления широкое внедрение информационных и компьютерных технологий, что дает возможность включать все публикации в существующих наукометрических базах данных. К числу наиболее востребованных в России баз данных относится РИНЦ, где в электронном виде содержатся огромные массивы, как научных работ, так и массивы их цитирований. Наличие данных по публикациям каждого ученого позволило разработать алгоритмы и методики определения показателей оценки творческой деятельности ученого на основании массива его публикаций и их цитирований. Из их числа особо следует выделить работу Хирша [1], в которой предложен алгоритм формирования показателя, наиболее широко используемого на практике по сравнению с существующими модификациями. Показатель назван «индексом Хирша» или «h-индексом». Геометрически величина показателя h соответствует стороне квадрата цитирований, названного квадратом Хирша [2]. Следует отметить, что на основе индекса Хирша разработаны, исследованы и предложены ряд модификаций оценки творческой деятельности ученого и организации в целом. Достаточно подробный обзор модификаций алгоритмов Хирша и их сравнительный анализ выполнен и приведен в статьях автора [2-3]. Поскольку

настоящая статья является дальнейшим развитием статей [2] и [3], то обзор работ здесь не приводится.

Наиболее существенный недостаток алгоритма Хирша и большинства его модификаций связан с учетом ограниченного количества публикаций и их цитирований, что приводит к рискам внесения ошибок при ранжировании.

Цель работы направлена на иллюстрацию отмеченного недостатка индекса Хирша и обоснование пути устранения его ошибок с помощью индекса GHP, предложенного в [2]. С его помощью за счет дифференциации публикаций учитываются все труды и все их цитирования.

Систематизация и структуризация исходных данных для алгоритмов оценки индексов H и GHP. Математическая их интерпретация

Согласно определению индекса Хирша, это, если «из N статей автора h цитируются как минимум h раз каждая, в то время как оставшиеся $(N - h)$ статей цитируются не более, чем h раз каждая» [1].

Для построения алгоритма нахождения величины h необходимо рассмотреть два массива числовой информации: массив чисел, характеризующий порядковый номер публикации автора и массив цитирований, каждое из которых может быть представлено символом, в частности единицей [2]. За каждой единицей необходимо закрепить номер публикации и номеру цитирования. Такая структуризация позволяет простоту обоснования и методику построения алгоритмов многих индексов, в том числе GHP.

В дальнейшем для описания структуры массива исходных данных целесообразно разместить его в матрице с количеством строк цитирований s_1 и количеством столбцов N публикаций. Каждый столбец цитирований в матрице подбирается таким об-



разом, чтобы он соответствовал публикации, у которой число цитирований не превышало предыдущей публикации и не было меньше ближайшей последующей. Структура матрицы цитирований и публикаций, в которой каждому порядковому номеру публикации соответствует номер столбца, а столбцы следуют по невозрастающему количеству в них цитирований, представлена в табл. 1.

Таблица 1. Распределение в матрице цитирований и публикаций

12	1	1	0	0	0								
11	1	1	0	0	0								
10	1	1	0	0	0								
9	1	1	0	0	0								
8	1	1	0	0	0								
7	1	1	1	1	0								
6	1	1	1	1	0								
5	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
i													
j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H	Матрица цитирования массива Хирша												
G	Матрица цитирования массива значимых публикаций												
P	Матрица цитирования массива менее значимых публикаций												

Количество цитирований в i – м столбце будем обозначать через s_i . Тогда поскольку число цитирований, расположенных в столбцах, с ростом i – го номера столбца, а, соответственно, номера публикации, не возрастает, то s_1 является максимальным и определяет число строк матрицы. Принятое расположение публикаций и цитирований целесообразно называть матрицей распределения цитирований. С учетом распределения в матрице цитирований, для ее элементов будет справедливо неравенство $s_i \geq s_{i+1}$, а индекс Хирша тогда можно определить как $h = i$, если $s_i \geq h$, а $s_{i+1} \leq h$.

Поскольку число цитирований для произвольной публикации равно количеству единиц, то, следовательно, если каждая i – я опубликованная работа имеет s_i цитирований, то ученый будет иметь общее число цитирований

$$S = \sum_{j=1}^{s_i} \sum_{i=1}^N s_{ij}.$$

Следуя определению «индекс Хирша», или «h-индекс» Хирш (Hirsch, 2005) по сути предложил свертку двумерного массива чисел к одному числу, что позволяет ранжировать ученых по этому числу. Индекс Хирша – это попытка дать одним числом комплексную оценку массиву публикаций ученого и их цитируемости. Другими словами из матрицы цитирования вырезается квадратная матрица H , включающая площадь h^2 цитирований. Корень квадратный

из этой площади составляет длину стороны квадрата, которая выступает как геометрическая интерпретация индекса Хирша [2].

Применительно к матричной форме представленных исходных данных индекс Хирша интерпретируется в работе как величина евклидовой нормы матрицы H . Действительно, согласно определения, нормой матрицы является величина, вычисляемая по формуле:

$$(\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^h s_{ij}^2)^{1/2} = (\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^h 1)^{1/2} = (h^2)^{1/2} = h.$$

Таким образом, определение понятия индекса, введенное Хиршем, совпадает с нормой вырезаемой квадратной матрицы из исходных данных. Справедливо считают, что за счет однозначности индекса Хирша [2], он относительно широко используется на практике.

Однако, самым существенным его недостатком является то, что в формировании индекса участвует только часть массива исходной информации, а именно только h из N публикаций и h^2 из S цитирований. Остальная часть ее, а именно $(N - h)$ публикаций и $(S - h^2)$ цитирований игнорируются. Другими словами учету не подлежат цитирования матрицы G и публикации с цитированиями матрицы P (Табл. 1), которые следуют из матрицы распределения цитирований, включающей следующие элементы: H – матрица цитирования массива Хирша; G – матрица цитирования массива значимых публикаций; P – матрица цитирования массива менее значимых публикаций.

Каждая из перечисленных матриц имеет следующие размеры: H – i от 1 до h ; j от 1 до h ; G – i от 1 до h и j от $h+1$ до s_1 ; P – i от $h+1$ до N и j от 1 до h . Наибольший номер строки формируется первым столбцом, так как имеет наибольшее число цитирований. Порядковые номера публикаций сохраняются и должны располагаться по не убыванию количества их цитирований, т.е. каждый последующий столбец должен иметь меньшее или равное число цитирований по сравнению с предыдущим. За каждым ij –м элементом матрицы закрепляется не более одного цитирования.

По аналогии с введенным в работе индексом Хирша вводится понятие ghp – индекса как евклидовой нормы суммы трех матриц, т.е. всех публикаций автора и всех их цитирований. Его вычисление проводится на основании следующего утверждения: ghp – индекс всех публикаций и всех их цитирований численно равен корню квадратному из величины евклидовой нормы суммы трех матриц H , G и P .

Для доказательства утверждения обозначим количество цитирований соответственно матриц H , G и P через h^2 , g^2 , p^2 . Индексы цитирований каждой матрицы по аналогии с индексом Хирша обозна-



чим следующими символами: h – индекс Хирша; g – индекс характеризует значимость h «лучших» первых научных работ ученого; p – индекс активности научной работы ученого. Проведем вычисление евклидовых норм трех матриц:

$$(\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^h s^2_{ij})^{1/2} = (\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^h 1)^{1/2} = (h^2)^{1/2} = h.$$

$$(\sum_{j=h+1}^{s_i} \sum_{i=1}^h s^2_{ij})^{1/2} = (\sum_{j=1}^{s_i} \sum_{i=1}^h 1)^{1/2} = (g^2)^{1/2} = g.$$

$$(\sum_{j=1}^{s_i} \sum_{i=h+1}^N s^2_{ij})^{1/2} = (\sum_{j=1}^{s_i} \sum_{i=h+1}^N 1)^{1/2} = (p^2)^{1/2} = p.$$

Обозначим индекс всех цитирований через ghp . Его определение соответствует вычислению евклидовой нормы суммы трех матриц H , G и P .

Тогда

$$ghp = (\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^h s^2_{ij} + \sum_{j=h+1}^{s_i} \sum_{i=1}^h s^2_{ij} + \sum_{j=1}^{s_i} \sum_{i=h+1}^N s^2_{ij})^{1/2} =$$

$$= (h^2 + g^2 + p^2)^{1/2} = (S)^{1/2} = \sqrt{S},$$

где $S = \sum_{j=1}^{s_i} \sum_{i=1}^N s_{ij} = h^2 + g^2 + p^2$

Таким образом, для определения индекса научных достижений ученого ghp , построенного по матричной форме исходных данных, вычисляется как евклидова норма суммы норм трех матриц. Согласно доказанному утверждению ghp – индекс число равно корню квадратному из суммы количества всех цитирований всех работ автора.

В качестве замечания к алгоритму вычисления ghp – индекса следует отнести равнозначность все цитирований, как значимых публикаций с большим числом цитирований (матрица G), так и мало значимых – с небольшим их числом цитирований (матрица P).

Обоснование возможности избежать риска с ошибкой выполнить ранжирование ученых по их публикациям и цитированиям с помощью индекса Хирша

Как отмечалось в основном в настоящее время оценка научной деятельности ученых, их вклада в решении научных задач осуществляется с помощью h – индекса Хирша, по которому устанавливается и рейтинг каждого ученого в коллективе.

Следует отметить, что в коллективах научных организаций число ученых с равным (обычно с небольшим) значением индекса Хирша существенно превышает количества ученых, которые имеют более значимые для науки и практики работы, а, соответственно, и большие индексы Хирша.

Учитывая, что дифференциацию трудов ученых с равными индексами Хирша невозможно про-

водить на его основе, то ранжирование их целесообразно осуществлять на основе ghp – индекса. С целью иллюстрации данного предложения в работе для выборки из РИНЦ выполнен анализа научной деятельности 30 ученых с равным индексом Хирша (табл. 2).

Таблица 2. Основные показатели 30-и ученых с равным индексом Хирша

Порядковый номер ученого по h-индексу	Число научных работ	Число цитирований	h-индекс	ghp-индекс	Рейтинг по h-индексу	Рейтинг по ghp-индексу	Смена рейтинга, ghp-h
1	45	98	3	9,90	1	6	-5
2	24	43	3	6,56	1	18	-17
3	34	113	3	10,63	1	4	-3
4	21	56	3	7,48	1	13	-12
5	34	37	3	6,08	1	22	-21
6	45	67	3	8,19	1	9	-8
7	17	131	3	11,45	1	2	-1
8	8	24	3	4,90	1	29	-28
9	47	83	3	9,11	1	7	-6
10	14	22	3	4,69	1	30	-29
11	34	39	3	6,24	1	20	-19
12	81	46	3	6,78	1	15	-14
13	34	51	3	7,14	1	14	-13
14	25	72	3	8,49	1	8	-7
15	24	56	3	7,48	1	12	-11
16	14	25	3	5,00	1	27	-26
17	27	57	3	7,55	1	11	-10
18	20	24	3	4,90	1	28	-27
19	27	110	3	10,49	1	5	-4
20	48	117	3	10,82	1	3	-2
21	34	26	3	5,10	1	26	-25
22	20	32	3	5,66	1	24	-23
23	54	60	3	7,75	1	10	-9
24	58	28	3	5,29	1	25	-24
25	22	43	3	6,56	1	17	-16
26	43	131	3	11,45	1	1	0
27	17	40	3	6,32	1	21	-20
28	34	40	3	6,32	1	19	-18
29	18	44	3	6,63	1	16	-15
30	34	34	3	5,83	1	23	-22

В табл. 2 каждый ученый представлен количеством публикаций и количеством цитирований, индексом Хирша и оцененным gh -индексом. Все ученые, согласно индекса Хирша, должны занимать место рейтинга с первого по тридцатое. Вместе с тем они имеют разное число публикаций и разное количество цитирований. Тем самым, как утверждалось, индекс Хирша не позволяет их дифференцировать.

По gh -индексу им определены места и смещение их с первого места.

Согласно индексу ghp все ученые за исключением одного занимают места большего порядка. На рис. 1 на оси ординат приведены значения h -индекса и ghp -индекса ведущих ученых, а на оси абсцисс представлены их порядковые номера из табл. 2.

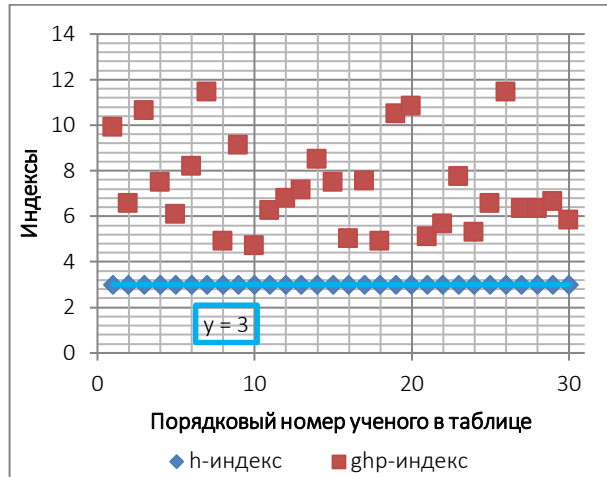


Рис. 1. Индексы H и GHP ученых с равной величиной индекса Хирша

Из рис. 1 видно, что картина ранжирования полностью меняется. При этом ученые с большим массивом цитирований имеют более высокий рейтинг. Ученые с меньшим суммарным числом цитирований выходят на более низкий рейтинг. Таким образом, за счет применения индекса ghp все ученые занимают более справедливое положение в рейтинге научных достижений.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.02.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 15.05.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 26.02.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 15.05.2023.

Заключение

На основании сравнения рейтингов индекса Хирша и индекса ghp следует заключить следующие:

– индекс Хирша не обеспечивает справедливого распределения рейтинга коллектива ученых с равным индексом Хирша, так как не учитывает все достижения каждого ученого;

– между результатами ранжирования ученых с помощью H -индекса и GHP -индекса могут возникать большие расхождения, а совпадения достигаются только при равных суммарных значениях цитирований;

– ghp - индекс качественно позволяет выполнить ранжирование ученых, достигших более высокие показатели результатов научной деятельности и дифференцированно осуществить распределение мест в рейтинге ученых с равным индексом Хирша.

– к недостатку ghp – индекса следует отнести, что он не учитывает характер распределения цитирований в матрицах G и P , а учитывает только распределение цитирований между ними

Библиографический список

1. Hirsch J.E. An index to quantify an individual's scientific research output // Proc. Nat. Sci. 2005. № 46.
2. Герасименко, П. В. Модификации индекса Хирша для дифференцированной оценки результатов творческой деятельности ученых / П. В. Герасименко // Управление наукой и наукометрия. – 2020. – Т. 15, № 1. – С. 55-71. – DOI 10.33873/2686-6706.2020.15-1.55-71. – EDN XYNWFG.
3. Герасименко, П. В. Оценка алгоритмов модифицированных индексов Хирша на однозначность / П. В. Герасименко // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 3(12). – С. 60-67. – DOI 10.51608/26867818_2021_3_60. – EDN CJUOLO.

ПЕРСОНАЛИИ

ПОЗДРАВЛЯЕМ С 85-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ РФ,
ЛАУРЕАТА ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ, ЛАУРЕАТА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ РФ,
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РААСН РАХИМОВА РАВИЛЯ ЗУФАРОВИЧА



Редакционный совет, редакционная коллегия сетевого научно-практического издания «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» поздравляет с 85-летием члена-корреспондента Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) по направлению «Строительные науки», доктора технических наук, профессора Равиля Зуфаровича Рахимова.

Р.З. Рахимов – выдающийся ученый, Заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии правительства РФ и Государственной премии РФ, заслуженный профессор Казанского государственного архитектурно-строительного университета, почетный доктор наук Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, почетный строитель России, почетный работник высшего образования России, академик Международной академии информатизации.

Трудно переоценить вклад Равиля Зуфаровича в развитие строительного комплекса нашей страны и в области его научных интересов по:

- исследованию, прогнозированию и расчету физико-механических свойств и долговечности строительных композиционных материалов при воздействии различных эксплуатационных факторов;
- изучению сырьевой базы промышленности строительных материалов областей и республик Волжского региона России;
- разработке эффективных строительных материалов на основе и с применением местного сырья и технологий их производства.

Исключительный профессионализм и ответственное отношение к своему делу позволяют Равилю Зуфаровичу успешно справляться со сложнейшими научными и инженерными задачами на высочайшем уровне. Он создал лабораторию длительной прочности строительных материалов и оснастил её



испытательным оборудованием, преимущественно собственных разработок.

По инициативе и под редакцией Рахимова Р.З. издано 15 межвузовских сборников научных трудов «Работоспособность строительных материалов в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов» и 5 сборников научных трудов международной научно-технической конференции «Современные проблемы строительного материаловедения. Вторые академические чтения РААСН». Является соавтором 8-ми коллективных монографий, посвященных анализу и перспективам развития минерально-производственных комплексов строительных материалов областей и республик Волжского региона, двух изданий коллективной монографии «Анализ и основные направления развития и размещения производственных сил Республики Татарстан».

Под его руководством коллективом с участием сотрудников проектных институтов в 1998 г. разработаны «Рекомендации по проектированию теплоэффективных ограждающих конструкций жилых и общественных зданий для условий республики Татарстан», которые служат базой для проектирования и строительства с учетом изменений требований по теплозащите зданий.

Равиль Зуфарович выступил инициатором и руководителем коллективов по разработке и подготовки Постановлений КМ РТ «О приоритетных направлениях структурной перестройки базы строительной индустрии РТ в условиях рыночных отношений», «О рациональном использовании местного сырья в производстве строительных материалов», «О Приоритетных направлениях структурной перестройки промышленности строительных материалов и строительной индустрии Республики Татарстан на 2001-2005 годы». Неоднократно привлекался для оценки уровня технологии производства строительных материалов зарубежных стран по приглашению фирм Германии, Франции, Испании, Италии, Китая, Чехии.

С 1999 года Рахимов Р.З. привлекается в качестве руководителя научного сопровождения строительства Казанского метрополитена. Вместе с созданным для этого коллективом им разработаны составы высокопрочных и водонепроницаемых бетонов и комплектующих материалов для изготовления блоков колец тоннелей метрополитена и технология производства блоков, которые освоены на двух заводах Казани. Разработка отмечена дипломом 1-ой степени в конкурсе НИОКР на 1-ой Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона.

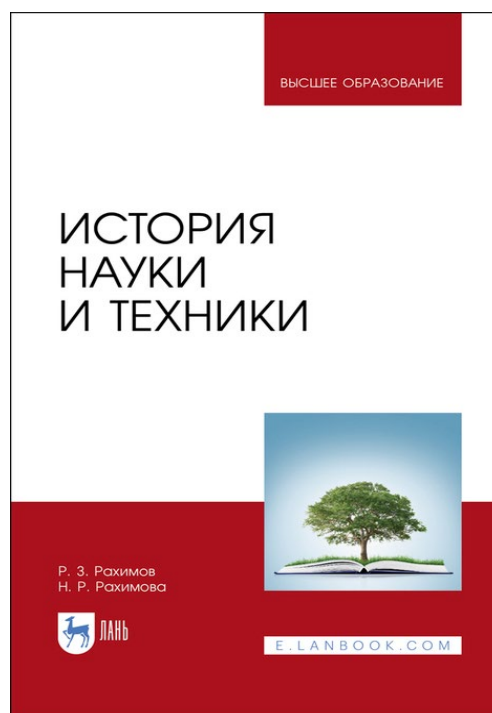
По рекомендациям Рахимова Р.З. на основе разработанных технологий созданы производства: мягких кровельных материалов «АО «Нижне-

камскровля») и декоративных отделочных растворов (ОАО «Строитель» г. Елабуга).

В 2001 году Рахимовым Р.З. издано учебное и справочное пособие для инженеров-строителей, архитекторов и студентов строительных специальностей «Современные кровельные материалы», которое отмечено дипломом выставки «Кровля и изоляция».

В 2015 году совместно с учеными из Великобритании и Египта опубликована монография «Cementitious materials for nuclear waste immobilization».

Издательством «Лань» в 2020-2021 годах были опубликованы два издания учебного пособия для ВУЗов «История науки и техники» авторов Рахимова Р.З., Рахимовой Н.Р. и в 2022 году 3-е настоящее издание – переработанное и дополненное, в котором представлены сведения истории зарождения, развития и комплексным исследованиям по отдельным фундаментальным и прикладным наукам, включая: астрономии, архитектуре, географии, геологии, градостроительству, космологии, минералогии, механики, физики, химии, техники и общего материаловедения. Современное развитие науки и техники базируется на изучении истории их развития, достижений, практической реализации научных открытий начиная с эпохи Древнего мира и до настоящего времени. В XIX-XX наука и техника получили чрезвычайно динамичное развитие по расширению разновидности направлений, теоретических и практических разработок, которое стало возможным с учетом достижений в пограничных областях фундаментальных и прикладных наук.





На этой основе проведенных исследований в дальнейшем, будут формироваться развитие и достижения науки и техники. Учебное пособие имеет научную значимость, ценность и может быть полезно исследователям и занимающимися вопросам подготовки и повышению квалификации инженерных и научных кадров. Авторами представлены исследования и достижения ученых, творцов в пограничных областях различных отраслей науки, в сопровождении с описаниями происхождения, участия во многих сферах жизнедеятельности, интересов исследователей и ценность учебного пособия для широкого круга читателей от детского возраста до преклонных лет.

По итогам XXVI Конкурса РААСН на лучшие научные и творческие работы в области строительных наук за 2022 год в номинации «Лучшее учебное издание в области строительных наук» учебное пособие «История науки и техники» и авторский коллектив Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. (Казань) награждены Дипломом РААСН.

Рахимов Р.З. – это редчайшее, и, наверное, неповторимое сочетание интеллигентности и твердости в отстаивании своих позиций, профессионализма высшей марки, автор и соавтор около 900 научных работ, новизна которых защищена 37 авторскими свидетельствами и патентами, опубликовал 26 монографии (одна из которых издана в Великобритании), учебников и учебных пособий. Подготовил трех докторов наук и 19 кандидатов наук.

В этот замечательный юбилейный день, поздравляя Рахимова Р.З. со столь почтенной датой, выражаем глубочайшее признание Вам, Вашей надежности, доброте, душевности, заботе, мудрым и взвешенным советам.

Желаем Равилю Зуфаровичу новых творческих успехов, крепкого здоровья, бодрости, успехов, удачи, благополучия, счастья, реализации намеченных целей и задач!

Из автобиографии

Родился Рахимов Равиль Зуфарович 11 мая 1938 года в поселке Кокташ Кокташского района Таджикской ССР.

По окончании в 1956 году Антоновской средней школы в Куйбышевском районе ТАССР продолжил учебу до 1961 года в Казанском инженерно-строительного института (ныне Казанский архитектурно-строительный университет);

Работал в 1961-1962 – мастером УПП Куйбышевэнерго Минэнерго СССР, в г. Заинск;

В 1962-1964 трудился начальником ПТО завода ячеистых бетонов в г. Набережные Челны, затем, погрузившись в инновационную исследовательскую деятельность он поступает в аспирантуру КИСИ прошел тернистый путь к вершине познаний.

В 1964 - 1968 годах аспирант, ассистент кафедры химии КИСИ;

В 1967 году Равиль Зуфарович успешно защищает диссертацию на тему «Исследование разрушения твердых полимеров под действием статических нагрузок», по результатам защиты в МИСИ автору присуждена ученая степень кандидата технических наук;

Его дальнейший тернистый путь в научно-исследовательской, учебно-педагогической деятельности непрерывно связан с Казанским инженерно-строительным институтом, где он продолжает работать в настоящее время советником ректората КГАСУ:

– 1968-1971 – старший преподаватель, доцент кафедры пластмасс;

– 1970 – присвоено ученое звание доцента;

– 1971-1974 – доцент кафедры строительных материалов, декан вечернего факультета КИСИ;

– 1974-1976 – старший научный сотрудник КИСИ;

– 1976-1989 – проректор по научной работе КИСИ;

– с 1980 – заведующий кафедрой строительных материалов КИСИ-КГАСУ;

– 1986 – присуждена ученая степень доктора технических наук по результатам защиты диссертации в ВЗИСИ на тему «Стойкость строительных конструкционных композитов на основе олигомеров под действием агрессивных сред, повышенных температур и механических нагрузок»;

– 1987 – присвоено ученое звание профессора;

– 1994 – избран действительным членом Международной академии информатизации и членом-корреспондентом Российской академии архитектуры и строительных наук;

– 1995 – присуждена Государственная премия Республики Татарстан в области науки и техники за работу «Геолого-экономическое исследование проблем и обоснование перспектив развития минерально-производственного комплекса строительных материалов Республики Татарстан»;

– 1996 – избран действительным членом Российской академии проблем качества;

– 1997 – присвоен Сертификат Хельсинского университета по современным методам менеджмента и маркетинга;

– 1998 – получено свидетельство Татарского Международного института ИНКО по оценке инвестиционных проектов;

– 2000 – получен аттестат государственного представителя в органах управления хозяйственных обществ и товариществ;

– 2001 – получен именной Государственный квалификационный сертификат Госстроя России на



право осуществления профессиональной деятельности в области контроля качества продукции.

Результаты научно-исследовательской и учебно-педагогической деятельности Равиль Зуфаровича по подготовке специалистов высокой квалификации и его личный вклад в науку строительного комплекса России высоко оценены государством, обществом:

- Заслуженный деятель науки и техники РФ;
- Лауреат премии правительства РФ;
- Лауреат Государственной премии РФ;
- Заслуженный деятель науки и техники Татарской ССР;
- Заслуженный профессор Казанского государственного архитектурно-строительного университета;
- Почетный доктор наук Пензенского государственного университета архитектуры и строительства;
- Почетный строитель РФ;
- Почетный работник высшего образования РФ;

– Юбилейная медаль «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина»;

- Медаль «Ветеран труда»;
- Нагрудным знаком МВ и ССО РСФСР «За отличные успехи в работе»;
- Нагрудным знаком «Участник ВВЦ»;
- Нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования России»;
- Почетными грамотами, Дипломами МВ и ССО РСФСР, ВСНТО, РААСН.

Библиографический список

1. Официальный сайт Татарская энциклопедия. URL: <https://tatarica.org/ru/razdely/nauka/personalii/rahimov-ravil-zufarovich> Онлайн - энциклопедия Tatarica / (Дата обращения 28.04.2023).

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

CONGRATULATIONS TO RAACS CORRESPONDING MEMBER RAKHIMOV RAVIL ZUFAROVICHON, HONORED WORKER OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE RUSSIAN FEDERATION, ON THE 85TH BIRTHDAY

Editorial board and journal staff of the online scientific-practical publication "EXPERT: THEORY AND PRACTICE" congratulates on the 85th anniversary of the corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) in the direction "Building Sciences" Ravil Zufarovich Rakhimov, Professor, Doctor of Technical Sciences.

R.Z. Rakhimov is an outstanding scientist, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, laureate of the Government award of the Russian Federation and laureate of the State Prize of the Republic of Tajikistan, Honored Professor of Kazan State Architectural and Construction University, Honorary Doctor of Science of the Penza State University of Architecture and Construction, Honorary Builder of Russia, Honorary Worker of Higher Education of Russia, Academician of the International Academy of Informatization.

R.Z. Rakhimov has the rarest and probably unique combination of intellectualism and firmness in defending his positions. He is the professional of the highest brand, the author and co-author of about 900 scientific works, the novelty of which is protected by 37 copyright certificates and patents, 26 published monographs (one of which was published in the UK), textbooks and teaching aids. He trained 3 doctors of science and 19 candidates of science.

On this wonderful day, we congratulate Rakhimov R.Z. on such a venerable date, we express our deepest gratitude to you, your reliability, kindness, cordiality, care, wise and balanced advice.

We wish Ravil Zufarovich new creative successes, good health, cheerfulness, success, good luck, prosperity, happiness, realization of the planned goals and tasks!

*Editorial board, journal staff
of the online scientific-practical publication
"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 **ИнДизайне** или загрузке в **РИНЦ** (*они видят всё*) у вас в статье будет обнаружено замена однотипных букв из разных алфавитов, вставлены слова в виде формул или применены в словах некорректные символы с целью увеличения оригинальности текста (к сожалению Word и Антиплагиат этого не видят) – статья будет **удалена**, а вся информация будет передана вашей организации.

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



ТРЕБОВАНИЯ К ПУБЛИКАЦИЯМ В ЖУРНАЛЕ

«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

(включен в категорию K1 перечня ВАК, пятилетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,64)

Сайт: <https://www.expert763.ru/>

Научные специальности:

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

Размещение статей в сетевом издании платное.

Оплат а производит ся 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. Мет аданные ст ат ь 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 ст ат ь:

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 раньше 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
№ 2 (21) 2023 г.

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

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 2 (21) 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> 02.06.2023.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 13,95.
Электронные текстовые данные (5,35 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.

